

연령증가에 따른 정상 노인의 음향분석학적 특징

삼성의료원 강북삼성병원 이비인후과
진성민 · 권기환 · 강현국

= Abstract =

Acoustic and Stroboscopic Characteristics of Normal Person's Voices with Advancing Age

Sung Min Jin, M.D., Kee Hwan Kwon, M.D., Hyun Gug Kang, M.D.

*Department of Otolaryngology, Kangbuk Samsung Hospital, Samsung Medical Center,
Seoul, Korea*

Anatomic and physiological changes of the larynx with advancing age result in morphologic changes of the vocal fold and reduced control of the phonatory mechanism in elderly individuals and are reflected in increased instability of fundamental frequency (Fo). The purpose of this study is to increase current understanding of acoustic and stroboscopic characteristics of normal elderly persons' voices.

First, phonated /a/ vowel productions by 40 normal adults (20 to 40 years, 20 men and 20 women) and 40 normal elderly persons (60 to 80 years, 20 men and 20 women) were analyzed, using CSL (model 4300B) acoustic analysis software, to obtain acoustic measures related to fundamental frequency stability and vocal resonance characteristics. Second, stroboscopic images of the vocal fold behavior in all subjects were analyzed by experienced specialists.

In the men, fundamental frequency variation (vFo) ($p < 0.01$), jitter ($p < 0.05$), and shimmer ($p < 0.05$) for the older group were significantly higher than the value for the adult group. In the stroboscopic findings, edema of vocal fold had a significant finding in aged men (15%). In the women, vFo ($p < 0.05$), jitter ($p < 0.05$), and noise to harmonic ratio (NHR) ($p < 0.05$) for the older group were significantly higher than the value for the adult group and first formant frequency (F1) ($p < 0.01$) and second formant frequency (F2) ($p < 0.01$) for the older group were significantly lower than the value for the adult group. In the stroboscopic findings, vocal fold atrophy had a significant finding in aged women (25%).

Frequency stability, as reflected by vFo, jitter, shimmer, and NHR, decreases with advancing age in men and women and spectral analysis of phonated /a/ vowel productions reveals the lowering of the frequency of F1 and second F2 with advancing age, especially in aged women. Change in the mass of vocal folds, due to atrophy or edema, is considered to be the greatest factor in these acoustic changes.

KEY WORDS : Advancing age · Acoustic analysis · Stroboscopic analysis.

서 론

후두는 연령이 증가함에 따라 근육과 신경조직의 퇴화, 연골의 골화, 발성 조절능력의 감소 등으로 인하여 음성의 안정성이 감소되고¹²⁾ 인대의 이완 및 근육의 위축으로 인하여 정상 성인에 비해 후두의 위치가 낮아져¹⁷⁾, 결과적으로 공명기관의 변화를 보인다. 또한 Morrison 등¹⁰⁾은 성대 자체에 있어서 남자의 경우는 결체조직의 변성으로 인하여 성대의 위축이 주로 나타나고, 여자의 경우는 Reinke 부종이나 폴립양 변화가 주로 나타남으로써 서로 다른 양상의 음성 변화를 일으킨다고 하였다.

연령증가에 따른 발성기관의 변화는 형태학적인 검사인 후두경 검사를 통하여 관찰할 수 있고, 음향분석학적 검사를 통하여 음성의 안정성을 측정할 수 있으며 발성 및 공명기관의 변화를 측정할 수 있다. 현재까지는 음성을 객관적으로 평가하기 위하여 공기역학검사를 비롯하여 성대진동검사, 청각심리검사, 음향검사, 후두 근전도 검사 그리고 후두내시경에 의한 분석등 수많은 검사가 사용되어왔다. 특히 음향분석학적 검사에 있어서는 많은 매개변수가 발표되어 Liberman⁸⁾은 Pitch Perturbation을, Wendahl¹⁶⁾은 Pitch Perturbation을 보다 객관적으로 나타낸 Jitter와 Shimmer를, Koike⁹⁾는 Pitch Perturbation Quotient (PPQ), Amplitude Perturbation Quotient (APQ)를 Kim 등⁵⁾은 제1포먼트(F1)를 발표하여 이들 매개변수가 음성진단에 유용하다고 주장하였다.

이에 저자들은 건강한 노인과 성인의 후두검사 소견 및 음향분석학적 검사 소견을 남녀 각각 비교 분석하여, 연령증가에 따른 음성의 변화 양상 및 후두의 생리적 변화를 살펴보고자 하였다.

연구대상 및 방법

1. 연구대상

과거력 및 현재 병력 상 후두질환으로 치료받은 경험 없이 흡연경력이 없으며 호흡기, 후두, 조음기관 및 청각기관에 이상이 없는 60세 이상의 건강한 노인 남자 20명, 여자 20명과 20~40세 사이의 건강한 성인 남자 20명, 여자 20명을 대상으로 하였다.

2. 음성표본

음향학적 분석을 위한 음성 표본은 각 사람들을 마이크에서 10cm 떨어져서 5초씩 가장 편안한 목소리로 발성시킨 음성에서 음성의 떨림(perturbation)의 차이를 가장 잘 나타내준다고 보고된⁷⁾ /a/ 모음을 세번 내게 하여 그중 안정된 발성을 나타낸 것을 선택하여 분석하였다.

3. 연구방법

1) 성대화상술 검사(Videostroboscopic examination)

연령증가에 따른 성대의 형태학적 변화를 관찰하기 위한 성대화상술 검사는 성대부종, 폴립양 변화, 성대위축, 성대의 활형변화(bowing), 성대형성증(sulcus vocalis) 등을 매개변수로 하여 사용하였고, 노인남녀에서만 비교하여 특징을 살펴보았다. 모든 스트로보스코피검사는 90° Rigid Telescope Type 5952를 통하여 CCD Camera (Panasonic[®])와 Television Monitor (SONY[®])에 연결된 B&K Rhino-Larynx Stroboscope Type 4914를 사용하여 기록하였고 모든 기록은 Video-Cassette recorder (Panasonic[®])를 이용하여 녹화 및 재생하였다.

2) 공기역학적 검사

공기역학적 검사는 음성생성능력을 양적으로 표현하여 주는 최장발성지속시간(Maximum Phonation Time, MPT)을 측정하였고, 이때 피검자자는 편안한 자세에서 최대흡기 후 편한 발성으로 /a/ 모음을 가능한 한 길게 지속적으로 발성케하여 그 발성의 지속시간을 3회 측정하고 가장 큰 값을 채택하였다.

3) 음향분석학적 검사

발성된 음성은 SHURE사 Model SM 48 unidirectional dynamic microphone을 통하여 컴퓨터에 입력되어 분석되었다. 채취된 음성의 음향학적 분석을 통하여 음성의 안정성 및 공명기관의 변화를 관찰하고자 Kay사의 CSL Model 4300B와 Multidimensional Voice Program(MDVP) 4305를 이용하여 평균기본진동수(Average Fundamental Frequency, Fo), 평균기본진동수의 표준편차(STD), 기본진동수변이(Fundamental Frequency Variation, vFo), Jitter, Pitch Perturbation Quotient (PPQ), Shimmer, Ampli-

tude Perturbation Quotient (APQ), 잡음대 조파비 (Noise to Harmonic Ratio, NHR), 제1 및 제2포만트 등의 매개변수를 측정하였고 이들 결과를 남녀 각각 노인과 정상성인을 비교하였다.

4) 통 계

통계학적 검증은 통계분석패키지인 Statistical Analysis System (SAS) 중 t-test를 이용하여 각 결과의 평균, 표준편차를 비교하였고 유의수준은 95%로 하였다.

결 과

최장발성지속시간에 있어서 노인남자의 경우는 평균 17초, 성인남자의 경우 19초이었으며 여자의 경우 양군 모두 17초로 동일하였다. 평균기본진동수는 노인남자의 경우 121.8Hz, 성인남자의 경우 118.7Hz로 나타났고 여자의 경우는 각 174.80Hz, 224.82Hz로 나타났다. 평균기본진동수의 표준편차는 노인남자의 경우 3.08Hz, 성인남자의 경우 1.29Hz로 나타났고 여자의 경우는 각 9.74Hz, 2.48Hz로 나타났다. 기본진동수변이에 있어서는 노인남자의 경우 2.59%, 성인남자의 경우 1.09%이었고 여자의 경우는 각 6.48%, 1.11%로 나타났다. jitter는 노인남자의 경우 1.50%, 성인남자의 경우 0.59%이었고 여자의 경우는 각 2.12%, 0.89%로 나타났다. PPQ는 노인남자가 0.94%, 성인남자가 0.38%이었고 여자의 경우는 각 1.33%, 0.51%로 나타났다. Shi-

mmmer에 있어서는 노인남자가 5.31%, 성인남자가 3.46%이었고 여자의 경우는 각 7.37%, 3.44%로 나타났다. APQ 경우 노인남자는 4.11%, 성인남자는 2.85%로 나타났고 여자의 경우는 각 6.40%, 2.34%로 나타났다. 잡음대 조파비의 경우는 노인남자가 0.14, 성인남자가 0.13으로 나타났고 여자의 경우는 0.21, 0.12로 나타났다(Table 1, 2).

제1포만트의 평균치는 노인남자의 경우 688.2Hz, 성인남자의 경우 703.17Hz이었으며, 표준편차는 각 50.02, 30.07로 나타났고, 여자의 경우는 평균치가 각 765.01Hz, 827.79Hz이었고 표준편차가 각 40.05, 33.08로 나타났다. 제2포만트의 경우 노인남자는 1201.9Hz, 성인남자는 1220.47Hz를 나타냈고 표준편차는 각 38.43, 31.08로 나타났으며 여자의 경우는 평균치에 있어서 각 1298.73Hz, 1364.98Hz를 보였고 표준편차에 있어서 각 95.77, 115.34를 나타냈다(Table 3, 4).

노인남녀에서만 시행한 성대화상술에서 남자노인의 경우는 성대부종이 3례, 성대의 활형변화가 2례, 그리고 성대위축이 2례 순으로 나타났고, 여자의 경우 성대위축이 5례, 성대부종이 1례, 폴립양 변화가 1례 순으로 나타났다(Table 5).

고 찰

발성기관의 연령증가에 따른 변화는 많은 저자들에 의하여 보고되어, Segre¹²⁾는 발성이 주위기관의 기능에

Table 1. Means and p-values for acoustic measures from phonated vowel sound in men

	MPT*	Fo [†]	STD*	JITT [§]	PPQ	vFo [¶]	SHIM [#]	APQ ^{**}	NHR ^{††}
Old men	17	121.83	3.08	1.50	0.94	2.59	5.31	4.11	0.14
Young men	19	118.68	1.29	0.59	0.38	1.09	3.46	2.85	0.13
p-value	>0.05	>0.05	>0.05	<0.05	>0.05	<0.01	<0.05	>0.05	>0.05

*MPT=maximum phonation time, [†]Fo=fundamental frequency, [#]SD=standard deviation, [§]JITT=jitter, ^{||}PPQ=pitch perturbation quotient, [¶]vFo=fundamental frequency variation, [#]SHIM=shimmer, ^{**}APQ=amplitude perturbation quotient, ^{††}NHR=noise to harmonic ratio

Table 2. Means and p-values for acoustic measures from phonated vowel sound in women

	MPT*	Fo [†]	STD*	JITT [§]	PPQ	vFo [¶]	SHIM [#]	APQ ^{**}	NHR ^{††}
Old women	17	174.80	9.74	2.12	1.33	6.48	7.37	6.40	0.21
Young women	17	224.82	2.48	0.89	0.51	1.11	3.44	2.34	0.12
p-value	>0.05	<0.01	>0.05	<0.05	>0.05	<0.05	>0.05	>0.05	<0.05

*MPT=maximum phonation time, [†]Fo=fundamental frequency, [#]SD=standard deviation, [§]JITT=jitter, ^{||}PPQ=pitch perturbation quotient, [¶]vFo=fundamental frequency variation, [#]SHIM=shimmer, ^{**}APQ=amplitude perturbation quotient, ^{††}NHR=noise to harmonic ratio

Table 3. Means, standard deviations and p-values for resonance measures from phonated vowel sound in men

	F1*		F2†	
	Mean	STD	Mean	STD
Old men	688.20	50.02	1201.93	38.43
Young men	703.17	30.07	1220.47	31.80
p-value	>0.05		>0.05	

*F1=first formant frequency,
†F2=second formant frequency

Table 4. Means, standard deviations and p-values for resonance measures from phonated vowel sound in women

	F1*		F2†	
	Mean	STD	Mean	STD
Old women	765.01	40.05	1298.73	95.77
Young women	827.79	33.08	1364.98	115.34
p-value	<0.01		<0.01	

*F1=first formant frequency,
†F2=second formant frequency

의존하며 연령증가에 따라 이들 주위기관의 변화가 음성의 변화에 영향을 미친다고 하였고, Endres¹⁾, Hollien³⁾, Wilcox¹⁵⁾ 등은 노인 음성에 있어서 기본진동수(fundamental frequency), 최장발성지속시간, jitter 등이 변화를 보였다고 하였다.

본 연구 결과, 남녀 모두에 있어서 노인이 성인에 비하여 기본진동수변이의 의미 있는 증가를 보여($p<0.05$) 기본진동수의 불안정성을 나타냈으며, 이들 결과는 Stoicheff⁴⁾와 Hori⁴⁾ 등이 폐경기 여자에 있어서 기본진동수변이가 증가한다는 결과와 일치하고 있다. 또한 Linville 등⁹⁾은 기본진동수변이의 증가는 신경과 근육계의 조절능력 감소나 후두 및 호흡기계의 조절능력 감소로 인하여 나타날 수 있으므로 이들에 대한 연구도 병행해야 한다고 하였다.

음성의 조조성(Roughness)를 보기 위하여 Pitch Perturbation을 나타내는 jitter와 Amplitude Perturbation을 나타내는 shimmer를 측정하였고 음성의 떨림을 최소화하기 위하여 Koike⁶⁾가 언급한 PPQ, APQ를 측정하였다. 이 결과 성인남자에 비하여 노인남자에 있어

서 jitter와 shimmer가 의미 있게 증가되었고($p<0.05$), 여자의 경우 jitter만 의미 있게 증가되었다($p<0.05$). 이 결과만으로 발성기관이나 발성을 조절하는 기관에 퇴행성 변화가 일어났다고 보기는 어려우나 후두기능의 미묘한 변화를 반영한다고 생각되어 지며, Sorenson¹³⁾, Murry¹¹⁾, Wilcox¹⁵⁾ 등은 후두조절기능의 감소나 후두조직의 퇴행성 변화가 일어난 경우 jitter나 shimmer가 증가한다고 언급하였다. 발성의 안정성을 나타낼 수 있는 또 하나의 지표인 잠음대 조파비를 측정한 결과 여자노인에게 있어서 의미 있게 증가되어 연령증가에 따른 발성의 불안정성을 뒷받침 해주고 있다.

연령증가에 따른 공명기관의 변화나 발성구조의 위치를 나타낼 수 있는 매개변수인 제1 및 제2포만트를 측정된 결과, 노인여자가 성인여자에 비하여 의미 있게 감소되었다($p<0.05$). 이들 결과는 후두는 연령이 증가함에 따라 그 위치가 낮아진다는 가설¹⁷⁾과 Fant²⁾가 노인여자의 경우 젊은 여자에 비하여 제1포만트가 의미 있게 감소되었다고 발표한 것과 일치한다. 또한 Linville 등⁹⁾도 여자에 있어서 연령 증가에 따라 제1 및 제2포만트가 감소하였다고 발표하였다. 이러한 연령증가에 따른 해부학적 변화가 제1 및 제2포만트와 관련된 공명기관의 구조에 영향을 끼칠 수 있다고 결론 내릴 수 있다.

성대화상술 검사상 남자의 경우는 성대위축이, 여자의 경우는 성대부종이 가장 많이 나타나 연령증가에 따른 성대의 변화에 있어서 남녀에 차이가 있음을 보여주고 있다. 이는 남자에 있어서 성대의 용적과 탄력성이 감소되어 위축성 변화를 보여 음조(pitch)가 증가하고 음성이 낮아지며, 여자에 있어서는 폴립양 변화를 일으켜 음성이 굵어져 남성과 같은 목소리를 낸다는 Morrison¹⁰⁾의 보고와 일치하고 있다.

결 론

저자들은 음성 및 발성의 변화에 대한 측정을 하기 위하여 매개변수로 음성의 불안정성을 나타내는 기본진동수변이, jitter, shimmer와 공명기관의 변화를 나타내

Table 5. Videostroboscopic findings in elderly person

	Vocal edema	Polypoid	Vocal atrophy	Sulcus vocalis	Bowing
Old men	3(15)*	1(5)	2(10)	0(0)	2(10)
Old women	1(5)	1(5)	5(25)	1(5)	1(5)

*()=percent

는 제1 및 제2포만트 등을 이용한 결과, 연령증가가 해부학적 변화중 하나인 발성기관의 기능이나 이를 조절하는 구조에 영향을 미친다는 사실을 알 수 있었다.

이에 향후 노인 음성질환의 관찰 시 남녀 모두에 있어서 연령증가에 따른 생리학적 변화를 고려하여야 하고 진단 및 치료에 있어서 이를 참조하여야 할 것으로 사료된다.

References

- 1) Endres W, Bambach W, Flosser G : *Voice spectrograms as a function of age, voice disguise and voice imitation. J of Acoust Soc of Am.* 1971 ; 49 : 1842-1848
- 2) Fant G : *Speech sounds and features. 1st Ed. Cambridge, MIT Press, 1973*
- 3) Hollien H, Shipp T : *Speaking fundamental frequency and chronological age in males. J of Speech and Hearing Research.* 1972 ; 15 : 155-159
- 4) Horii Y : *Fundamental frequency perturbation observed in sustained phonation. J of Speach Hearing Research.* 1979 ; 22 : 5-19
- 5) Kim KM, Kakita S, Hirano M, et al : *Sound spectrographic analysis of voice patients with recurrent laryngeal nerve paralysis. Foia Phomiatic.* 1982 ; 34 : 124
- 6) Koike Y : *Application of some acoustic measures for the evaluation of laryngeal dysfunction. Studia Phonologica.* 1973 ; 7 : 17-23
- 7) Lehman JJ, Bless DM, Brandenburg JH : *An objective assessment : of voice production after radiation therapy for stage 1 squamous cell carcinoma of the glottis. Otolaryngol H & N Surg.* 1988 ; 98 : 121-129
- 8) Liberman P : *Perturbation in vocal pitch. J of Acoust Soc Am.* 1961 ; 33 : 597-603
- 9) Linville SE, Fisher HB : *Acoustic characteristics of women's voices with advancing age. J Gerontol.* 1985 ; 40(3) : 324-330
- 10) Morrison MD, Gore-hickman P : *Voice disorders in the elderly. J Otolaryngol.* 1986 ; 15 : 231-234
- 11) Murry T, Doherty ET : *Selected acoustic characteristics of pathologic and normal speakers. J of Speech and Hearing Research.* 1980 ; 23 : 361-369
- 12) Segre R : *Senescence of the voice. EENT Monthly.* 1971 ; 50 : 223-227
- 13) Sorenson D, Horii Y, Leonard R : *Effects of laryngeal topical anesthesia on voice fundamental frequency perturbation. J of Speech and Hearing Research.* 1980 ; 23 : 274-283
- 14) Stoicheff ML : *Speaking fundamental frequency characteristics of nonsmoking female adults. J of Speach and Hearing Research.* 1981 ; 24 : 437-441
- 15) Wilcox KA, Horii Y : *Age and changes in vocal jitter. J Gerontol.* 1980 ; 35 : 194-198
- 16) Wendahl RW : *Laryngeal analog synthesis of jitter and shimmer auditory parameters of harshness. Folia phoniatica.* 1966 ; 18 : 98-108
- 17) Wilder C : *Transcripts of the seventh symposium care of the professional voice. Part II : Life span changes in the human voice. Vocal aging(ed Weinberg B), 1st Ed. The Voice Foundation, New York, 1978*