

식도음성의 고유기저주파수 발현 현상

전북대학교 의과대학 이비인후과학교실, 음성실험실*
홍기환 · 김성완 · 김현기*

= Abstract =

Intrinsic Fundamental Frequency(Fo) of Vowels in the Esophageal Speech

Ki Hwan Hong, M.D., Sung Wan Kim, M.D., Hyun Ki Kim, Ph.D.*
Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Phonetic Laboratory,
Medical College, Chonbuk National University, Chonju, Korea*

Background : It has been established that the fundamental frequency(Fo) of the vowels varies systemically as a function of vowel height. Specifically, high vowels have a higher Fo than low vowels. Two major explanations or hypotheses dominate contemporary accounts offered to explain the mechanisms underlying intrinsic variation in vowel Fo, source-tract coupling hypothesis and tongue-pull hypothesis.

Objectives : Total laryngectomy surgery necessitates removal of all structures between the hyoid bone and the tracheal rings. Therefore, the assumption that no direct interconnection exists between the tongue and pharyngoesophageal segment that would mediate systematic variation in vowel Fo appears quite reasonable. If tongue-pull hypothesis is correct, systemic differences in Fo between high versus low vowels produced by esophageal speakers would not be expected. We analyzed the Fo in the vowels of esophageal voice.

Materials and method : The subjects were 11 cases of laryngectomee patients with fluent esophageal voice. The five essential vowels were recorded and analyzed with computer speech analysis system(Computerized Speech Lab). The Fo was measured using acoustic waveform, automatically and manually, and narrow band spectral analysis.

Results : The results of this study reveal that intrinsic variation in vowel Fo is clearly evident in esophageal speech. By analysis using acoustic waveform automatically, the signals were too irregular to measure the Fo precisely. So the data from automatic analysis of acoustic waveform is not logical. But the Fo by measuring with manually calculated acoustic waveform or narrowband spectral analysis resulted in acceptable results. These results were interpreted to support neither the source-tract coupling nor the tongue-pull hypotheses and led us to offer an alternative explanation to account for intrinsic variation of Fo.

KEY WORDS : Esophageal speech · Intrinsic fundamental frequency.

서 론

정상적인 상태에서 각 모음은 특이하게도 각각 다른 고유의 기저주파수를 가지고 있다¹⁾²⁾. 예를 들면 /i/, /u/와 같은 고설음은 높은 기저주파수를 가지며 /a/같은 저설음은 낮은 주파수를 가지는데 혀가 높게 위치하면 기저주파수가 상승하고 낮게 위치하면 기저주파수가 낮다는 것이다³⁾⁴⁾.

이제까지 알려졌은 이에 대한 설명은 크게 두가지로 설명되어져 왔는데 첫째 설인 가설(tongue-pull hypothesis)로서 주로 설명되어지는 가설이다. 이는 혀가 상승하면 후두가 상승하게 되어 후두의 상승에 따른 성대의 긴장도 변화에 의해 주파수가 상승한다는 설명으로 고설음시 주파수가 높고 저설음시 주파수가 낮아진다고 한다²⁾. 둘째 음원-성도 연결작용 가설(sourcetract coupling hypothesis)은 모음의 제1음형대주파수가 기저주파수와 가까울수록 성도와 음원사이에서 음의 연결 현상이 나타나 제1음형대 주파수는 더욱 낮아지고 기저주파수는 높아지려는 현상에 의해 기저주파수가 높아진다는 설명이다³⁾.

그러나 흥미롭게도 각 모음 발생시 방사선촬영에 의하면 후두의 높이는 고설음에서 저설음보다 낮다는 사실 즉 후두의 높이와 기저주파수와는 비례하지 않는다는 사실을 발표되어 설인 가설에 대한 반론이 제기되어 왔으며 최근들어 Honda⁵⁾⁶⁾는 고설음시 혀가 상승하면서 동시에 윤상갑상근의 활동에 의해 윤상갑상근의 거리가 좁아져 성대의 횡적 긴장도가 증대된다는 소위 보완적 긴장 기전(a supplementary tensor mechanism)을 발표하였다. 이러한 사실은 Vilkman⁷⁾에 의해서도 보고되었던바 고설음시 혀가 상승할때 반사적으로 윤상갑상근의 활동도가 증대되어 성대의 횡적긴장도가 증대된다고 보고하였다.

후두전적출술은 후두, 설골 및 설골하부근 전체가 제거된 상태로써 각 모음에 대한 후두의 설인 효과를 비롯하여 주파수에 영향을 줄 수 있는 모든 요소들이 없어진 상태로써, 발성은 잔여 인두식도근에 의해 발생되는데 이 부위는 혀와의 직접적인 해부학적 관계가 전혀 없는 부위이다. 그러므로 무후두음성에서는 모음의 종류에 관계없이 모든 모음에서 기저주파수에 차이가 없

다는 즉 고유기저주파수가 없다고 가정할 수 있겠다. 본 연구의 목적은 무후두음성에서의 각 모음에 대한 기저주파수, 음형대주파수를 측정하여 무후두음성에서 모음에 따른 고유기저주파수가 존재하는가를 알아보고 음형대주파수와의 관계를 비교하므로써 위의 두 가설에 대한 비교검증을 시도하여 흥미로운 결과를 얻었기에 보고하는 바이다.

연구대상 및 방법

1. 연구대상

후두 악성종양으로 인한 후두전적출술을 받았던 11명을 대상으로 하였던바 모든 대상은 남자였고 6명은 경부곽출술이 시행되었고 이중 4명은 술후 방사선치료가 시행되었던 환자였다. 모든 환자는 술후 본 교실의 식도발성교실에서 일정기간 식도발성교육을 받았고 청각적으로 유창한 식도발성자들이었다.

2. 음성녹음 및 어음재료

어음재료로서 지속모음은 /a/, /e/, /i/, /o/, /u/를 평상시의 편안한 자세로 가능한한 길게 5번 가량 반복하여 발성케 하였으며 이중 안정되게 잘 발성되었던 신호를 3개 선택하여 음성신호의 중간부위를 선택하여 측정하였던바 평균한 수치를 측정치로 하였다.

3. 음성분석

음성 입력은 정확성을 위해 Sony DAT-corder TCD-D3 녹음기를 사용하였고 일단 녹음한후 재생하여 컴퓨터에 입력한 다음 CSL(computerized speech lab., Kay Elemetrics)을 이용하여 세가지 방법으로 측정하였다. 첫 번째 방법으로는 음성파형으로부터 각 모음에 대한 기저주파수를 측정하는데 컴퓨터에 의한 자동 측정이며 두 번째는 음성파형에서 peak라 예상되는 부위를 임의적으로 선택하여 기저주파수를 측정하였고 세 번째 방법으로 각 모음에 대한 협대 스펙트로그램으로부터 가장 낮게 나타나는 스펙트럼을 기저주파수로 측정하였는데 낮은 주파수로부터 10번째 스펙트럼을 선택한 후 10으로 나눈 수치를 스펙트럼상에서의 기저주파수로 결정하였다. 각각의 측정치에 대한 통계처리는 Students' t-test를 이용하여 $p < 0.05$ 를 유의한 결과로 판정하였다.

결 과

1. 음성파형을 이용한 자동측정

Table 1과 같이 평균 기저주파수가 모음 /a/에서 215.6Hz, 모음 /e/에서 212.3Hz, 모음 /i/에서 192.4 Hz, 모음 /o/에서 203.8Hz, 모음 /u/에서 199.0Hz로서 모두 비정상적으로 높게 나타났으며 통계적으로 서로 유의하지 않았다. 이러한 결과는 음성파형을 이용한 기저주파수의 측정은 너무 불규칙적인 파형으로 인해 정확히 측정되지 못한 수치라 하겠다.

2. 음성파형을 이용한 수동분석

Table 2와 같이 평균 기저주파수가 모음 /a/에서

Table 1. Distributions of intrinsic Fo(Hz) using acoustic waveforms, automatic

Subjects	/i/	/e/	/u/	/o/	/a/
1.	164	213	148	150	242
2.	196	181	184	227	223
3.	167	236	185	231	239
4.	205	231	175	219	231
5.	180	192	231	149	147
6.	242	191	226	165	230
7.	202	244	198	218	218
8.	233	244	255	215	152
9.	186	156	213	236	237
10.	165	232	150	185	213
11.	176	215	224	247	240
Mean	192.4	212.3	199.0	203.8	215.6
s/d	26.5	28.9	34.2	39.7	34.0

Table 2. Distributions of intrinsic Fo(Hz) using acoustic waveforms, manual

Subjects	/i/	/u/	/e/	/o/	/a/
1.	92	83	80	73	87
2.	83	95	93	85	81
3.	70	80	95	81	78
4.	74	65	82	74	76
5.	90	78	84	80	71
6.	83	93	74	82	89
7.	96	89	78	83	85
8.	103	95	81	71	80
9.	111	79	85	65	75
10.	96	84	106	78	79
11.	120	96	98	69	71
Mean	92.5	84.0	86.7	76.3	79.1
s/d	9.4	10.5	7.8	10.6	8.3

79.1Hz, 모음 /e/에서 86.7Hz, 모음 /i/에서 92.5Hz, 모음 /o/에서 76.3Hz, 모음 /u/에서 84.0Hz로서 전체적으로 고설음인 모음 /i/ 및 /u/에서 저설음 /o/와 /a/에 비해 높았으나 모음 /u/에서 /e/에 비해 낮게 나타났다. 각 모음사이의 유의한 차이는 모음 /i/는 모음 /o/, 및 /a/에 비해 통계적으로 유의하게 높았으며($p < 0.05$) 모음 /u/는 모음 /a/에 비해 유의하게 높았으며($p < 0.05$) 그외의 모음들 사이에서는 유의하지 않았으나($p > 0.05$) 전체적으로 고설음에서 저설음들에 비해 높게 나타났다.

3. 협대 스펙트럼을 이용한 분석

Table 3과 같이 평균 기저주파수가 모음 /a/에서 43.3Hz, 모음 /e/에서 49.5Hz, 모음 /i/에서 60.7Hz, 모음 /o/에서 45.6Hz, 모음 /u/에서 54.5Hz로서 전체적으로 고설음인 모음 /i/ 및 /u/에서 저설음에 비해 유의하게 높았다($p < 0.05$). 각 모음사이의 유의한 차이는 모음 /i/는 모음 /e/, /o/, 및 /a/에 비해 통계적으로 유의하게 높았으며($p < 0.05$) 모음 /u/는 모음 /o/와 /e/에 비해 유의하게 높았으며 고설음 및 저설음들 사이에서는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$).

고 안

이제까지 각 모음에 대한 고유기저주파수의 발현 현상에 대한 설명으로는 주로 혀의 높이변화 및 후두의 높이변화와와의 관계로 설명되어져 왔다²⁸⁾. Ohala²⁾는 고전적인 설인 가설(classical tongue pull hypothesis)를

Table 3. Distributions of intrinsic Fo(Hz) using narrow band spectrum

Subjects	/i/	/e/	/u/	/o/	/a/
1.	73	55	63	50	55
2.	63	55	60	50	38
3.	50	38	45	39	40
4.	54	51	50	50	39
5.	73	50	55	39	45
6.	76	63	50	43	50
7.	55	50	52	46	38
8.	47	39	57	46	40
9.	54	43	45	38	50
10.	76	58	66	61	44
11.	47	42	57	40	37
Mean	60.7	49.5	54.5	45.6	43.3
s/d	11.8	8.1	6.9	6.9	6.1

발표하였는데 설골과 혀가 상승하면 후두도 상승하므로서 성대에 가해지는 긴장도는 윤상갑상근에 의한 긴장도와 수직의 방향으로 긴장도가 증대되는 즉 *conus elasticus*의 수직긴장도가 상승되고 후두가 하강하면 긴장도가 하강한다는 설로서 대개 피치와 후두의 높이와는 비례하므로 설득력있게 인정되어왔으며 Erickson⁹⁾은 후두가 상승하므로서 윤상연골이 윤상갑상관절을 중심으로 뒤로 움직이는 즉 윤상갑상근에 의한 윤상연골의 운동과 같은 양상을 보이므로서 피치가 상승한다는 흥미로운 결과를 발표하였다.

그러나 후두상승에 따른 기저주파수 상승에 대해서 여러 반론이 있는것이 사실이다. 방사선촬영에 의하면 후두의 높이는 고설음 /i/, /u/에서 저설음 /a/보다 낮다는 사실 즉 후두의 높이와 pitch와는 비례하지 않는다는 사실을 발표되었으며^{10,11)} 또한 Vilkman⁷⁾은 고설음에서 후두실이 더 열려있고 성대 및 가성대가 빠져있다는 사실을 발표하였는데 van den Berg¹⁰⁾에 의한 방사선 촬영에서도 이러한 사실이 규명되어졌다. 그리하여 Ohala¹²⁾는 그의 고전적 설인 가설 대신에 변형된 설인 가설을 발표하였는데 방사선촬영에 의한 연구에서 그는 고설음시 혀는 상승하고 후두는 하강하므로서 후두실의 크기가 커지고 성대와 가성대가 퍼지기 때문에 후두점막이 얇아지면서 성대의 수직긴장도가 증대하여 피치가 상승한다고 소위 혀의 높이변화에 따른 성대의 수직긴장도의 변화에 대한 상관관계를 설명하였다.

그러나 최근들어 Honda⁵⁾는 이러한 성대의 수직긴장도의 변화보다는 성대의 횡적 긴장도의 변화에 의해 혀의 높이에 따라 기저주파수가 변한다고 보고하였다. 그는 악설골근과 악설근과 동시에 윤상갑상근에 근전도 검사를 시행한 결과 이설근들의 활동도와 비례하여 윤상갑상근의 활동도가 증대하는 현상을 보고하였는데 이러한 현상은 고설음시 혀가 상승하면서 동시에 윤상갑상근의 활동에 의해 윤상갑상근의 거리가 좁아져 성대의 횡적 긴장도가 증대된다는 소위 보완적 긴장 기전을 발표하였다. 이러한 사실은 Vilkman⁷⁾에 의해서도 보고되었던바 고설음시 혀가 상승할때 반사적으로 윤상갑상근의 활동도가 증대되어 성대의 횡적긴장도가 증대된다고 보고하였다.

후두의근에는 대표적으로 설골상부근 및 경부근이 있다. 이 근육들도 성대에 영향을 주어 기저주파수에 영향을 미친다는 보고들이 있지만¹³⁻¹⁹⁾ 후두에 어떠한 영향

을 주어 기저주파수에 변화가 오는가를 객관적으로 결론내리기란 쉽지 않다. 그러나 일반적으로 설골상부근은 후두를 상승시키므로서 성대의 수직긴장도를 상승시키거나 혹은 이차적으로 윤상갑상근의 활동에 의해 피치가 상승된다고 알려져 왔으며^{13,14)} 이러한 보고들은 정상사람을 상대로 발생시 피치에 변화를 주어 이근육의 활동도를 측정하거나 혹은 후두의 높이를 측정하였다. 그러나 잘 알려진대로 피치의 상승과 하강은 주로 윤상갑상근의 활동에 의한 성대의 긴장도와 길이의 변화에 의해 결정되므로^{15,16)} 순수히 설골상부근이 피치에 어떻게 영향을 주는가를 정상인을 대상으로 하여 알기란 매우 어렵다. 또한 각각의 설골상부근은 근육의 방향과 작용이 서로 달라 서로 다른 효과를 나타낼 것 같지만 대부분의 설골상부근이 하나의 근육군으로서 함께 혹은 따로따로 작용하기때문에 각각에 대해 그 영향을 알기란 매우 어렵다 하겠다. 또한 설골 하부근인 경부근들은 외부에서 후두 즉 갑상연골과 윤상연골의 운동에 영향을 주어 성대에 변화를 줄 것이라는 즉 "external laryngeal frame function"이 있을거라고 보고되어져 왔다^{17,18,19)}. Hong¹⁹⁾의 보고에 의하면 흉골설골근의 수축은 후두와 기관을 전, 하방으로 잡아당기는 운동을 초래하여 피치를 하강시키는데 그 이유는 후두기관의 하강으로 인한 후두기관의 공기의 압력증대에 의한 성문하압력의 증가와 후두기관의 전하방으로의 기울림에 의해 윤상갑상 거리의 단축으로 인한 성대의 길이증대와 긴장도 증대에 의해 피치가 증대된다고 하였으며 흉골갑상근은 흉골설골근보다 덜 효과적으로 피치를 증대시켰는데 이는 근육의 작용방향과 부피에 의해 후두기관의 전하방 운동이 흉골설골근 보다 덜 효과적이기 때문이다. 반면에 갑상설골근에 의한 피치의 상승효과는 갑상연골의 상승에 의한 윤상갑상 거리의 넓어짐과 후두기관의 상승에 의한 성문하압력의 감소에 의해 피치가 하강된다고 보고하였다.

본 연구에서 시행한 후두전적출술은 기저 주파수에 영향을 주는 위의 모든 요소 즉 후두의 내, 외적인 모든 구조물이 제거된 상태에서 이론적으로 본다면 후두전적출술후 각 모음에 대한 기저주파수는 차이가 없어야 한다. 그러나 정상에서 볼 수 있었던 현상인 고설 모음에서 높은 주파수와 저설 모음에서 낮은 주파수를 나타내었다. 이를 간접적으로 설명한다면 후두의 설인 효과를 비롯하여 주파수에 영향을 줄 수 있는 모든 요소들

이 없어진 상태로서, 발성은 잔여 인두식도근에 의해 발생되는데 이 부위는 혀와의 직접적인 해부학적 관계가 전혀없는 부위이다. 그러므로 위의 이론들에 의하면 무후두음성에서는 모음의 종류에 관계없이 모든 모음에서 기저주파수에 차이가 없다는 즉 고유기저주파수가 없다고 가정할 수 있겠다. 그러나 본 연구의 결과에 의하면 정상에서 볼 수 있었던 현상인 고설 모음에서 높은 주파수와 저설 모음에서 낮은 주파수를 나타내었다. 이는 정상인에서 나타나는 고유기저주파수의 발현 현상은 Ohala²⁾와 Lehiste⁸⁾등에 의한 classical tongue pull hypothesis, Erickson⁹⁾에 의한 윤상갑상근 효과, Ohala¹²⁾ 등에 의한 modified tongue pull hypothesis 등으로는 모두 이러한 현상을 설명할 수 없게 되며 반면에 다른 설명으로 설명되어져야 하는데 정확한 기전에 대해서는 보다 진전된 연구가 있어야 하겠지만 각 모음에 따른 발성시의 고유의 긴장도, 즉 모든 후두 내, 외적인 긴장도가 고설음에서는 높게 나타나고 저설음에서는 낮게 나타나는 현상에 의해 고유기저주파수가 나타나며 무후두음성에서 고유 기저주파수가 나타나는 현상은 남아있는 구조물들이 여전이 모음에 따른 고유의 긴장도를 보이기 때문으로 설명되어질 수 있겠다.

References

- 1) Vilkman E, Aaltonen O, Laine U : *Intrinsic pitch of vowels-a complicated problem with an obvious solution?* In : Gauffin J, Hammarberg B, eds. *Vocal fold Physiology*. Royal institute of technology, Stockholm, Sweden : Singular Publishing Group Inc, 1991 : 159-165
- 2) Ohala JJ : *Explanation for the intrinsic pitch of vowels*. Monthly Internal Memorandum, Phonology Laboratory University of California, Berkeley, 1973 : 9-26
- 3) Atkinson JE : *Correlation analysis of the physiological factors controlling fundamental voice frequency*. J Acous Soc Am. 1978 ; 63 : 211-222
- 4) Peterson NR : *Intrinsic fundamental frequency of Danish vowels*. J Phonetica. 1978 ; 6 : 177-189.
- 5) Honda K, Fujimura O : *Intrinsic vowel Fo and phrase-final Fo lowering : Phonological vs. Biological explanations*. In : Gauffin J, Hammarberg B, eds. *Vocal fold physiology*. Royal institute of technology, Stockholm, Sweden : Singular Publishing Group Inc, 1991 : 149-157
- 6) Honda K : *Relationship between pitch control and vowel articulation*. In : Bless DM, Abbs JH, eds. *Vocal fold physiology*. San Diego : College-Hill Press, 1983 : 286-97
- 7) Vilkman E, Karma P : *Vertical hyoid bone displacement and fundamental frequency of phonation*. Acta Otolaryngol(Stockh). 1989 ; 108 : 142-151.
- 8) Lehiste I, Peterson GE : *Some basic considerations in the analysis of intonation*. J Acous Soc Am. 1961 ; 33 : 419-425.
- 9) Erickson D, Liberman M, Niimi S : *The geniohyoid and the role of the strap muscle*. Haskin's Laboratories : Status Report on Speech Research, 1977 : SR-49 : 103-110
- 10) van den Berg JW : *On the role of the laryngeal ventricles in voice production*. Folia Phoniatr. 1955 ; 7 : 57-69.
- 11) Sundberg J, Askenflet A : *Larynx height and voice source : A relationship?* In : Bless DM, Abbs JH, eds. *Vocal fold physiology*. San Diego : College-Hill Press, 1983 : 307-316
- 12) Ohala J : *Speculation on pitch regulation*. Phonetica. 1977 ; 34 : 310-312.
- 13) Sonninen AA : *The role of the external laryngeal muscles in length-adjustment of the vocal cords in singing*. Acta Otolaryngol(Stockh) Suppl. 1956 ; 130 : 99-102
- 14) Faarborg-Anderson K, Sonninen AA : *Function of the extrinsic laryngeal muscles at different pitches*. Acta Otolaryngol(Stockh). 1960 ; 51 : 89-93
- 15) Yanagihara N, von Leden H : *The cricothyroid muscle during phonation*. Ann Otol Rhinol Laryngol. 1968 ; 75 : 987-1006
- 16) Kitajima K, Tanabe M, Isshiki N : *Cricothyroid distance and vocal pitch*. Ann Otol Rhinol Laryngol. 1979 ; 88 : 52-55
- 17) Hirano M, Koike Y, von Leden H : *The sternohyoid muscle during phonation*. Electromyographic studies. Acta Otolaryngol(Stockh). 1967 ; 64 : 500-507
- 18) Sonninen AA : *The external frame function in the control of pitch in the human voice*. Ann NY Acad Sci. 1968 ; 155 : 68-89
- 19) Hong KH, Ye M, Kim YM, Kevorkian KF, Berke GS : *The role of strap muscle in phonation - In vivo canine laryngeal model -*. J Voice. 1997 ; 11 : 23-32