

식도음성의 모음종류에 따른 음향학적 특성

Acoustic Features of Oral Vowels in the Esophagus Speakers

윤 은 미¹⁾ · 목 은 희²⁾ · 판후응옥민³⁾ · 홍 기 환⁴⁾

Yun, Eunmi · Mok, Eunhee · Phan huu Ngoc Minh · Hong, Kihwan

ABSTRACT

This study aimed to establish characteristics related to voice and speech through the natural base frequency analysis of esophagus vocalization. In the study, 8 subjects were selected for esophagus vocals, and 10 other subjects were selected for a control group. MDVP(Multi-dimensional Voice Program, Model 4800, USA, 2001), Multi Speech(Model 3700, Kaypantax, USA, 2008) were used as experiment equipment. The speech samples selected for evaluation were vowels and sentences (both declarative and interrogative). For acoustic analysis, the intonation form of fo, jitter, energy, shimmer, HNR, and intonation patterns of the speech sample were measured. The results were as follows: First, the natural intrinsic frequency of extended vowels in the esophagus vocal group was lower than the frequency in the normal vocal group. In particular, the intrinsic frequency difference for high vowel /i/ was much greater than the frequency difference for low vowel /a/. Second, the jitter values of the esophagus vocal group were higher than the control group. In particular, there was a large difference between the jitter values for /a/ and /i/, with the jitter values being highest for /i/. Third, there was no significant difference in vocal strength between the esophagus vocal patient group and the control group. Fourth, the shimmer values of the voices in the esophagus vocal group were higher than shimmer values in the control group. In particular, there was a large difference in shimmer values for low vowel /a/. Fifth, the HNR values of the esophagus vocal group were showed significantly lower than the control group. In particular, the largest difference in HNR values between the two groups was for high vowel /i/. Sixth, the pitch contours of interrogative and declarative sentences of the esophagus vocal patient group showed a different form or only had with small differences compared to the pitch contours of the normal vocal group, thus presenting an inconsistent pattern.

Keywords: esophageal voice, vowel, voice quality, MDVP

1. 서론

후두전적출술은 후두암 3기 이후의 환자에게 적용되는 수술 요법으로 후두, 설골 및 설골하부근 전체를 제거한다. 따라서 후두전적출술에 의해 정상적인 음성기능을 위해 필수적인 조

식의 소실과 해부학적·생리학적 변경이 야기되고, 이에 따라 정상적인 발성 과정이 불가능해진다. 후두전적출술 이후 정상 발성기관이 소실된 환자의 의사소통을 위한 음성재활방법으로는 인공후두기(electrolarynx, EL), 식도발성법(standard esophageal, SE), 기관식도 발성법(tracheoesophageal, TE)이 있다.

이 중 식도발성은 수술이나 기계의 사용 없이 발성이 가능하고 훈련을 시작한 지 3~6개월 후부터 발성이 가능하여 가장 전통적으로 선호되어 오는 음성재활 방법이다. 식도발성을 하기 위해서는 후두전적출술 이후 잔여 식도 상부의 인두-식도 분절(pharyngo-esophageal segment)이 새로운 발성기관의 역할을 하고 발성을 위한 공기를 저장하는 기관이 된다. 식도발성 시 유입되는 공기는 폐나 위로 들어가는 것이 아니라 식도 내에 유입된 상태에서 다시 식도로부터 공기가 유출 될 때 식도 상부를 진동시키면서 소리가 만들어지는 것이다.

1) 전북대학교, ab-yz@hanmail.co.kr/RISS

2) 전북대학교, mokeh@naver.com

3) 전북대학교, phanhuungocminh@gmail.com

4) 전북대학교, khhong@moak.chonbuk.ac.kr, 교신저자

이 논문은 제2저자의 석사학위논문을 수정·보완한 것입니다.

접수일자: 2015년 11월 10일

수정일자: 2015년 12월 17일

게재결정: 2015년 12월 19일

식도발성의 원리는 간단하게 공기 흡입과 발성의 두 가지 과정으로 설명할 수 있다. 식도발성에서 공기 흡입은 발성의 근본이라고 할 수 있다. 식도발성자의 식도 내 공기 유입량은 정상적인 발화자의 폐의 호흡량의 1/20에 불과하다. 따라서 청각적으로 의미 있는 발성을 위해서 식도발성자는 충분한 공기를 확보하기 위해 발화 시 인두-식도 분절의 영역을 통과하는 지속적인 공기 흡입을 실시해야 한다.

식도발성에 관한 선행 연구에 의하면 식도발성은 기관식도발성자와 식도발성자의 음성을 음향학적으로 비교 분석한 결과에서 식도발성의 기저주파수가 정상인의 기저주파수보다 확연히 낮다는 연구가 있었다[1]. 식도발성은 발성의 근원지로 사용되는 후두 적출 환자의 인두-식도 분절은 형태학적, 생리학적으로 매우 가변적이다[2]. 따라서 식도발성의 기저주파수의 특징을 설명하려는 노력이 있어 왔고 특히, 모음에서의 기저주파수의 본질적인 변동이 연구되어 왔다. Weinberg(1972) 등은 식도발성자의 음성의 기저주파수가 정상 성인 음성의 기저주파수에 비해 대략 한 옥타브 정도가 낮으며 식도발성자 개인의 특성에 따라 기저주파수 범위의 변이성이 크다고 설명하였다[2, 3]. 식도발성의 포먼트 주파수를 연구한 Nancy L. 과 Bernd Weinberg(1972)는 식도발성자의 포먼트 주파수 변동이 정상 발성자의 음성과 마찬가지로 체계적이고 여성 식도발성자의 포먼트 주파수가 남성 식도발성자의 포먼트 주파수보다 높다는 보고를 하였다[4].

공기역학적 연구로는 최장발성지속시간, 평균호기율, 및 발성강도 등을 정상인과 비교 연구하여 최장발성지속시간은 정상인보다 큰 감소를 보이거나 음성효율성에서 차이가 없음을 밝히고 식도발성 환자가 비교적 효율적인 발성을 한다는 결과가 있었다[5]. 한국어에서 정상 발성인의 의문문의 억양은 어말이 상승하는 상승조, 서술문의 억양의 형태는 어말이 하강하는 하강조가 일반적이나 식도발성의 억양은 변동률이 크고 일괄적이지 않다는 연구가 있었다[6].

식도발성은 후두전적출술 후 가장 널리 사용되는 음성재활법이나 식도발성은 습득이 어려우며 식도발성에 대한 교육이 전문적이고 체계적으로 이루어지기 어려운 것이 현실이다. 그러나 최근, 원자력 병원, 전북대 병원 등 몇몇 대형 병원을 중심으로 한 식도발성 교실 운영으로 기계사용 없이 발성하는 식도발성의 효과가 크다. 본 연구의 목적은 개별 모음에 대한 식도발성 음성의 고유 기저주파수(*intrinsic fundamental frequency*)와 주파수 변동률(*jitter*), 음성 강도(*Energy*), 진폭 변동률(*shimmer*), 배음 대 소음 비율(*harmonic-to-noise ratio*) 등의 식도발성의 청각적 지표로 사용할 수 있는 음향학적 변인을 정량적으로 측정된 결과를 식도발성 교육 및 관리의 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 연구대상 및 방법

본 연구의 피실험군은 후두전적출술 후 식도발성교실에서 일정기간 식도발성교육을 받은 환자로서 전기후두나 식도누공에 의한 단락관(*shunt*)을 사용하지 않고 청각적으로 유창한 발성이 가능한 남성 식도발성자 8명을 대상으로 하였으며 평균 연령은 65±4.6세였다. 대조군은 20년 이상의 이비인후과 전문의에게 진단받은 과거 후두 질환의 병력을 가지고 있지 않는 성인 남성 10명으로 평균 연령은 63±5.0세였다. 피실험자는 개별 5모음 /a/, /e/, /i/, /o/, /u/를 평상시의 편안한 자세로 앉아 가능한 한 길게 5번 가량 반복하여 발성하도록 하였으며 이 중 안정되게 잘 발성되었던 신호를 3개 선택하여 음성신호의 중간부위를 선택하여 측정 후에 평균 수치를 결과 값으로 하였다. 평가 문장은 서술문 “반갑습니다”와 의문문 “안녕하십니까?”를 평소 말하는 습관대로 자연스럽게 각각 3회씩 발성하도록 하였다. 이 중 가장 안정되게 잘 발성되었던 음성 신호를 선택하여 분석하였다. 마이크로폰(AGK C410, head held condenser microphone)을 피실험자의 입으로부터 약 10cm의 거리를 유지하도록 하였다. 표본율은 11025Hz로 하였다. 분석도구로는 MDVP(Multi-dimensional Voice Program, Model 4800, USA, 2001), Multi Speech(Model 3700, Kaypentax, USA, 2008)를 이용하여 음성을 분석하였다.

기저주파수의 측정은 보통 음성파형에서 *peak*라 예상되는 부위를 임의적으로 선택하여 기저주파수를 측정하거나 각 모음에 대한 협대 스펙트로그램으로부터 가장 낮게 나타나는 스펙트럼을 기저주파수로 측정하는데 낮은 주파수로부터 10번째 스펙트럼을 선정한 후 10으로 나눈 수치를 스펙트럼상에서의 기저주파수로 결정한다. 본 연구에서는 음성분석 도구내 프로그램에서 *pitch*를 실행하여 분석된 값을 사용하였다. 음도범위(*Pitch range*)는 협대 스펙트로그램을 이용하여 측정하였다. SPSS 18.0 for windows를 이용하여 기술통계 처리하였으며 식도발성 환자군과 정상 대조군 측정치에 대한 평균 차이를 독립표본 *t*-검정을 통해 유의 수준을 검정하였다.

3. 연구결과

3.1. 고유 기저주파수 분석

실험에 참여한 대상자들이 산출한 연장 모음 /a, e, i, o, u/의 기저주파수를 분석한 후 정상집단과 비교한 결과는 <표 1>과 같다.

두 집단의 기저주파수 차이의 유의성을 파악하기 위해 독립표본 *t*-검정을 실시하기 위해 등분산 검정을 실시하였고, 두 집단의 등분산이 모두 유의확률 0.05보다 큰 값을 나타내어 등분산이 가정된 *t* 값과 유의확률을 파악하였다. 각 연장모음에 따른 기저주파수 분석 결과는 <표 2>와 같다.

연장 모음 /a/를 분석한 결과, 식도발성 환자군의 기저주파수 평균값은 70.5±15.9Hz, 정상 음성을 가진 대조군의 기저주파수의 평균값은 134.8±11.8 Hz였다. 식도발성 환자군의 기저주파수는 정상 음성군에 비해 유의하게 낮게(p<0.01) 나타났다.

표 1. 정상화자와 식도발성자의 고유 기저주파수 비교
Table 1. Comparison of intrinsic fundamental frequency

Subjects	/a/	/e/	/i/	/o/	/u/
1	82.8	85.4	69.1	76.0	58.3
2	58.3	91.8	53.1	69.1	57.8
3	55.9	56.5	82.2	92.6	50.6
4	55.2	62.1	50.7	51.0	50.2
5	102.4	72.6	73.5	79.2	70.3
6	72.1	61.7	54.3	64.4	55.7
7	67.0	68.7	55.9	61.4	61.4
8	70.6	65.8	58.2	79.8	54.0
E M±SD	70.5 ±15.9	70.5 ±12.2	62.1 ±11.4	71.7 ±12.9	57.3 ±6.5
N M±SD	135.6 ±11.0	126.6 ±31.1	139.6 ±18.5	126.2 ±18.5	136.9 ±16.9

E: esophageal, N: normal, M: mean, SD: standard deviation

표 2. 정상화자와 식도발성자의 고유 기저주파수 비교
Table 2. Fo values of the t-test in two groups(Hz)

FO	E (n=8)		N (n=10)		t	p
	M	SD	M	SD		
a	70.5	±15.9	134.8	±11.8	-9.830*	.000
e	70.5	±12.2	126.5	±31.0	-4.788*	.000
i	62.1	±11.3	139.6	±18.5	-10.324*	.000
o	71.6	±12.9	133.0	±22.4	-6.848*	.000
u	57.2	±6.5	136.9	±16.9	-12.496*	.000

*p<0.01 E: esophageal, N: normal, M: mean, SD: standard deviation

모음 /e/를 분석한 결과, 식도발성 환자군의 기저주파수 평균값은 70.5±12.2Hz, 대조군의 평균값은 126.5±31.01Hz로 식도발성 환자군의 기저주파수가 정상 음성의 기저주파수보다 통계적으로 유의하게(p<0.01) 낮게 나타났다.

모음 /i/의 식도발성 환자군의 기저주파수 평균값은 62.1±11.3Hz, 정상 음성군의 평균 기저주파수는 139.6±18.5Hz로 식도발성 환자군의 기저주파수가 정상 음성의 기저주파수보다 통계적으로 유의하게(p<0.01) 낮았다.

모음 /o/의 기저주파수는 식도발성 환자군의 평균값이 71.6±12.9Hz로 정상 음성군의 평균값인 133.0±22.4Hz보다 통계적으로 유의하게(p<0.01) 낮게 나타났다.

모음 /u/를 분석한 결과, 식도발성 환자군의 기저주파수 평균값은 57.2±6.5Hz, 정상 음성을 가진 대조군의 기저주파수 평균값은 136.9±16.9Hz로 식도발성 환자군의 기저주파수가 대조군의 기저주파수보다 낮게 나타났고 통계적으로 매우 유의한

(p<0.01) 차이를 보였다.

분석 결과, 모든 모음이 대조군보다 낮게 나타났으며 이중 고모음이 저모음보다, 전설모음이 후설모음보다 더 크게 낮게 나타났다<그림 1>.

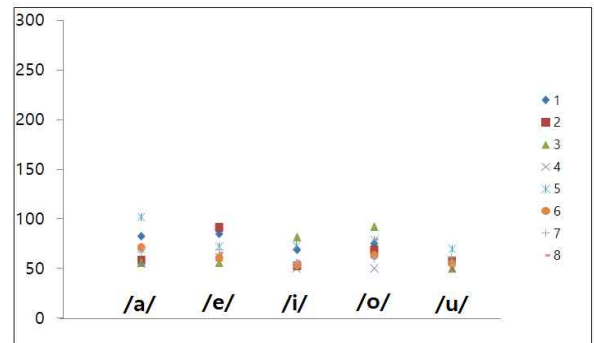


그림 1. 식도발성 환자의 기본 기저주파수

Figure 1. Pseudo vowels chart of intrinsic fundamental frequency for esophageal speech

3.2. 주파수 변동률 분석

다음은 식도발성 환자와 정상화자 사이의 주파수 변동률을 분석해 보았다. 각 모음에 따른 분석 결과는 아래 <표 3>와 같다.

표 3. 정상화자와 식도발성자의 주파수 변동률 비교
Table 3. Jitter values of the t-test in two groups(%)

Jitter	E (n=8)		N (n=10)		t	p
	M	SD	M	SD		
a	10.2	±3.6	.81	±.34	7.167*	.000
e	8.6	±3.7	.70	±.28	5.997*	.001
i	10.7	±4.7	.44	±.28	6.130*	.000
o	7.9	±3.9	.73	±.71	5.147*	.001
u	7.5	±5.5	.39	±.16	3.648*	.008

*p<0.01

연장 모음 /a/를 분석한 결과, 주파수 변동률에 대한 식도발성 환자군의 평균값은 10.2±3.6%로 대조군의 주파수 변동률 평균값인 0.8±0.3%보다 유의하게 낮게 나타났다(p<0.01). 또한, 대조군에 비해 식도발성 환자군의 표준편차가 비교적 크기 때문에 주파수 변동률에 대한 식도발성 환자의 개인차가 크게 존재함을 추측할 수 있었다.

연장 모음 /e/을 비교 분석한 결과, 식도발성군의 주파수 변동률 평균값은 8.6±3.7%, 정상 음성의 대조군의 주파수 변동률 평균값은 0.7±0.2%였다. 식도발성 음성의 주파수 변동률은 정상 음성군보다 통계적으로 유의하게 낮았다(p<0.01).

모음 /i/의 주파수 변동률을 분석한 결과, 식도발성군의 평균값은 10.7±4.7%, 정상 음성의 평균값은 0.4±0.2%로 식도발성군

의 주파수 변동률이 정상 음성의 주파수 변동률보다 통계적으로 유의하게 낮게 나타났다($p<0.01$).

모음 /o/의 주파수 변동률의 평균값은 식도발성 환자군이 $7.9\pm 3.9\%$, 정상 음성의 대조군의 평균값이 $0.7\pm 0.7\%$ 로 식도발성군의 주파수 변동률 평균값이 대조군보다 통계적으로 유의하게 낮게 나타났다($p<0.01$).

모음 /u/를 분석한 결과, 식도발성 환자군의 평균 주파수 변동률은 $7.5\pm 5.5\%$, 정상 음성의 대조군의 평균값은 $0.3\pm 0.1\%$ 로 식도발성 환자군의 주파수 변동률이 대조군의 주파수 변동률보다 유의하게 낮게 나타났다($p<0.01$).

분석 결과, 모음 /a/, /i/에서 Jitter 값이 크게 차이가 있었고 특히, 고모음 /i/에서 Jitter 값이 가장 크게 나타났다.

3.3. 음성 강도 분석

실험에 참여한 두 집단의 음성 강도를 비교하여 분석한 결과는 <표 4>와 같다. 음성 강도의 경우 다른 파라미터와 달리 정상화자와 식도발성 화자 사이에 유의한 차이를 발견하기 어려웠다.

표 4. 정상화자와 식도발성자의 음성 강도 비교
Table 4. Energy values of the t-test in two groups(dB)

Energy	E (n=8)		N (n=10)		t	p
	M	SD	M	SD		
a	54.7	± 4.3	54.4	± 2.8	.139	.891
e	58.0	± 4.6	56.1	± 1.7	1.159	.263
i	55.9	± 2.2	55.4	± 2.1	.463	.649
o	56.3	± 1.6	57.2	± 2.0	-0.939	.362
u	56.7	± 2.7	55.5	± 1.7	1.060	.305

연장 모음 /a/를 분석한 결과, 식도발성 환자군의 평균 강도는 $54.7\pm 4.3\text{dB}$, 대조군의 평균값은 $54.4\pm 2.8\text{dB}$ 로 식도발성 음성에서 약간 높게 나타났으나 두 집단 간 유의한 차이는 나타나지 않았다.

연장 모음 /e/를 분석한 결과, 식도발성 환자군의 평균 강도는 $58.0\pm 4.6\text{dB}$, 대조군의 평균 강도는 $56.1\pm 1.7\text{dB}$ 로 나타났고 연장된 모음 /a/와 마찬가지로 통계적인 유의성은 없었다.

모음 /i/의 강도를 분석한 결과, 식도발성 환자군의 평균값은 $55.9\pm 2.2\text{dB}$ 로 정상 음성을 가진 대조군의 평균 강도인 $55.4\pm 2.1\text{dB}$ 와 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

모음 /o/의 강도에 대한 평균값은 식도발성 환자군이 $56.3\pm 1.6\text{dB}$, 정상 음성군이 $57.2\pm 2.0\text{dB}$ 로 나타났고 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

모음 /u/의 강도를 분석한 결과, 식도발성 환자군의 평균값은 $56.7\pm 2.7\text{dB}$, 정상 음성을 가진 대조군이 $55.5\pm 1.7\text{dB}$ 로 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

음성 강도에서는 식도발성군과 대조군에서 통계적으로 유의한 수준에서 큰 차이가 없었다.

3.4. 진폭 변동률 분석

연장 모음 /a/ 발생 시, 식도발성군의 진폭 변동률의 평균값은 2.6%로 대조군의 평균값인 0.8%와 큰 차이가 나타났으며 통계적인 유의성을 보였다($p<0.01$).

연장 모음 /e/를 비교 분석한 결과, 식도발성 환자군의 진폭 변동률의 평균값은 1.9%, 정상 음성인 대조군의 평균값은 0.4%로 식도발성군의 진폭 변동률이 통계적으로 유의하게 높게 나타났다($p<0.01$).

모음 /i/ 발생 시, 식도발성 환자군의 진폭 변동률의 평균값은 $1.6\pm 1.0\%$, 정상 음성의 대조군의 진폭 변동률 평균값은 $0.3\pm 0.1\%$ 로 식도발성군의 진폭 변동률의 평균이 더 높은 결과를 보였으며 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다($p<0.01$).

모음 /o/를 연장 발생 시, 식도발성군의 진폭 변동률의 평균값은 $1.5\pm 0.6\%$, 정상 음성군의 진폭 변동률의 평균값은 $0.4\pm 0.2\%$ 로 나타났고 이는 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.01$).

모음 /u/에 대한 진폭 변동률의 분석 결과, 식도발성 환자군의 평균값은 $1.0\pm 0.5\%$, 정상 음성을 가진 대조군의 평균값은 $0.3\pm 0.2\%$ 로 식도발성군의 진폭 변동률의 평균이 대조군의 평균보다 통계적으로 유의하게 높게 나타났다($p<0.01$).

표 5. 정상화자와 식도발성자의 진폭변동률 비교
Table 5. Shimmer values of the t-test in two groups(%)

Shimmer	E (n=8)		N (n=10)		t	p
	M	SD	M	SD		
a	2.6	± 1.1	.87	± 1.1	3.472*	.003
e	1.9	$\pm .87$	.47	$\pm .14$	4.790*	.002
i	1.6	± 1.0	.35	$\pm .19$	3.627*	.002
o	1.5	$\pm .60$	.40	$\pm .20$	5.067*	.001
u	1.0	$\pm .50$	.39	$\pm .28$	3.295*	.005

* $p<0.01$

<표 5>에서 보듯이, 저모음 /a/에서 진폭변동률이 크게 높은 결과를 보여 다른 모음보다 대조군과의 진폭변동률에 큰 차이를 보였다.

3.5. 배음 대 소음 비율 분석

모음 /a/의 배음 대 소음 비율을 분석한 결과, 식도발성 환자군의 평균값은 $-2.0\pm 3.6\text{dB}$, 정상 음성의 대조군의 평균값은 $2.7\pm 4.2\text{dB}$ 로 식도발성군의 배음 대 소음 비율이 더 낮게 나타났으며 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.01$).

연장된 모음 /e/를 분석한 결과, 식도발성군의 배음 대 소음

비율의 평균값은 $-3.2 \pm 2.0\text{dB}$, 정상 음성을 가진 대조군의 평균값은 $5.4 \pm 2.5\text{dB}$ 로 식도발성군의 배음 대 소음 비율이 대조군보다 통계적으로 유의하게 낮게 나타났다($p < 0.01$).

모음 /i/를 연장하여 발성 시, 배음 대 소음 비율은 식도발성 환자군의 평균값이 $-3.9 \pm 2.4\text{dB}$, 정상 음성의 대조군의 평균값이 $6.6 \pm 3.2\text{dB}$ 로 식도발성 환자군의 배음 대 소음 비율이 통계적으로 유의하게 낮았다($p < 0.01$).

모음 /o/의 배음 대 소음 비율에 대한 분석 결과, 식도발성군의 평균값은 $-0.9 \pm 1.8\text{dB}$ 이고 대조군의 평균값은 $6.0 \pm 2.3\text{dB}$ 로 식도발성 환자군이 대조군보다 낮은 결과 값을 보였으며 이는 통계적으로 매우 유의한 차이를 보였다($p < 0.01$).

모음 /u/를 분석한 결과, 식도발성 환자군의 배음 대 소음 비율 평균값은 $-1.6 \pm 1.8\text{dB}$, 정상 음성을 가진 대조군의 평균값은 $6.3 \pm 2.2\text{dB}$ 로 식도발성군의 결과 값이 대조군보다 낮은 값을 보였으며 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다($p < 0.01$).

배음 대 소음 비율 분석 결과, 식도발성군의 모든 모음의 HNR이 정상 발성군보다 낮게 나타났으며 특히, 고모음 /i/에서 HNR이 대조군과의 가장 큰 차이를 보였다($p < 0.01$).

표 6. 정상화자와 식도발성자의 배음 대 소음 비율 비교
Table 5. HNR values of the t-test in two groups (dB)

HNR	E (n=8)		N (n=10)		t	p
	M	SD	M	SD		
a	-2.0	± 3.6	2.7	± 4.2	-2.524	.023
e	-3.	± 2.0	5.4	± 2.5	-7.961	.000
i	-3.9	± 2.4	6.6	± 3.2	-7.597	.000
o	-0.9	± 1.8	6.0	± 2.3	-6.843	.000
u	-1.6	± 1.8	6.3	± 2.2	-8.041	.000

* $p < 0.01$

3.6. 억양 형태 비교

억양 형태는 일반적으로 문두, 문중, 문말의 피치 형태를 분석한다. 본 연구에서는 서술문과 의문문 발화시 문말의 피치 형태를 비교 분석하였다. 그 결과, 의문문에서는 총 8명 중 3명의 억양이 상승조, 5명의 억양이 하강조로 나타났다. 서술문에서는 1명을 제외한 7명의 억양이 하강조였다.

정상군의 pitch range가 의문문의 어말에서 44Hz 상승한 것에 비해 식도발성군의 값은 15Hz 하강하였다. 서술문 어말을 비교한 결과, 정상군의 pitch range는 90Hz 하강하였고 식도발성군의 값은 12Hz 하강한 것으로 나타났다<그림 2, 3>.

4. 결론 및 고찰

후두전적출술 후 식도발성자 8명의 음성과 후두에 질병을 가지고 있지 않은 정상 발성자 10명의 음성을 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

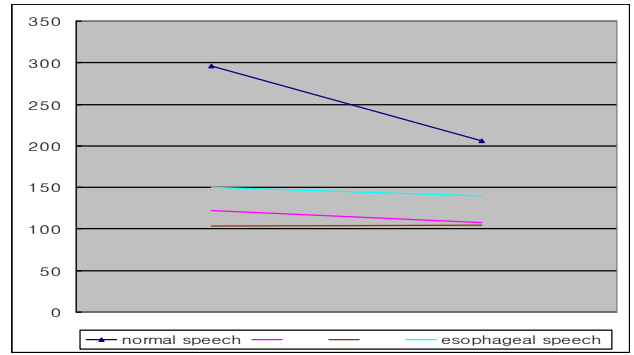


그림 2. 식도발성환자와 정상집단 음도범위(평서문) 비교
Figure 2. The comparison of pitch range of declarative sentence between esophageal speech and normal speech

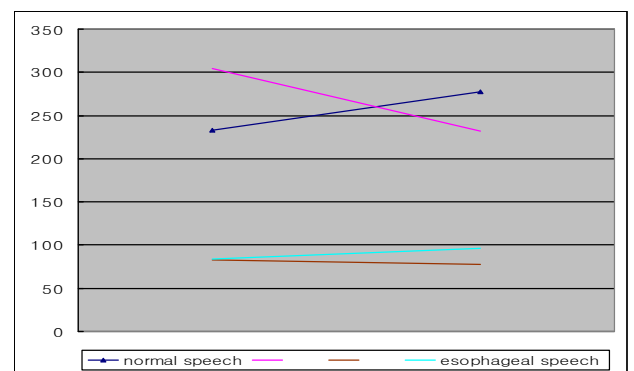


그림 3. 식도발성환자와 정상집단 음도범위(의문문) 비교
Figure 3. The comparison of pitch range of interrogative sentence between esophageal speech and normal speech

첫째, 식도발성 환자군의 연장 모음 /a/, /e/, /i/, /o/, /u/의 고유 기저주파수를 정상 발성군과 비교 분석한 결과, 식도발성군의 고유 기저주파수가 대조군보다 유의하게 낮게 나타났다. 특히, 고모음 /i/의 고유 기저주파수가 저모음 /a/의 고유 기저주파수보다 크게 낮게 나타났다.

둘째, 음도 변이의 규칙성을 평가하는 변인인 주파수 변동률에 있어서 식도발성 환자군의 연장된 모음 /a/, /e/, /i/, /o/, /u/의 주파수 변동률 평균값은 모두 정상 발성군의 평균값보다 높게 나타났으며 그 중 고모음 /i/에서 대조군과의 Jitter 값의 차이가 크게 나타났다.

셋째, 식도발성 환자군의 음성 강도와 대조군의 음성 강도에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

넷째, 음성 강도 변이의 규칙성을 평가하는 변인인 진폭 변동률에 대한 식도발성 환자군의 평균값은 연장 모음 /a/, /e/, /i/, /o/, /u/에서 모두 정상 발성군의 평균값보다 통계적으로 유의하게 높게 나타났다. 특히, 저모음 /a/에서 대조군과의 차이가 크게 나타났다. 모음 /a/는 다섯 모음 중에서 음향 에너지가 가장 강한 음인 것과 관련 있다.

다섯째, 배음 대 소음 비율의 식도발성 환자군의 평균값은 모음 /a/, /e/, /i/, /o/, /u/에서 정상 발성군의 평균값보다 통계적

으로 유의하게 낮게 나타났다. 특히, 고모음 /i/에서 HNR이 가장 큰 차이를 보였다.

여섯째, 정상 발성군의 의문문 어말이 상승조의 형태이고 서술문의 어말이 하강조인 형태이나 식도발성 환자군의 의문문은 어말이 하강하는 형태이거나 억양의 상승 폭이 적은 형태로 나타났다. 또한 대조군의 서술문의 어말의 억양이 큰 폭으로 하강하는 것에 비해 식도발성군의 서술문은 억양의 변화가 적은 형태이거나 대조군과 반대로 상승하는 형태 등 일괄적이지 않은 패턴으로 나타났다.

이상의 결과에서 제시한 바와 같이, 강도를 제외한 식도발성의 고유 기저주파수, 주파수 변동률, 진폭 변동률, 배음 대 소음 비율의 평균값이 정상 음성과 통계적으로 매우 유의한 차이를 나타냈고 식도발성자 개개인의 특성이 크게 존재함을 알 수 있었다. 특히, 각각의 음향학적 변수들에서 특정 모음에서의 차이가 크게 나타났다. 특히 각 모음별 고유기저주파수의 차이에서 고모음이 저모음보다, 전설모음이 후설모음보다 대조군과의 차이가 크게 나타난 것이 특징적이었다. 억양 형태의 비교 분석 결과, 식도발성군의 억양은 의문문과 서술문에서 대조군의 억양 형태와 다른 형태이고 일괄적이지 않았다. 또한, 식도발성 음성의 음향학적 변수들의 표준편차가 크다는 것이 특징적이었다. 특히, 주파수 변동률과 진폭 변동률의 표준편차가 정상 발성군의 값보다 현저히 큰 것으로 보아 두 변수에 대한 식도발성의 개인차가 크게 존재하는 것으로 추측할 수 있었다.

모음은 각각의 고유한 기저주파수(Intrinsic fundamental frequency)를 가지고 있다. 고유 기저주파수 출현은 설인 가설(tongue-pull hypothesis)[7]과 음원-성도 연결 작용 가설(source tract coupling hypothesis)[8]로 설명된다. 설인 가설은 혀가 상승하면 후두가 상승하게 되어 성대의 긴장도 변화에 의해 주파수가 상승한다는 가설이다. 음원-성도 연결작용 가설은 모음의 제1 포먼트가 기저주파수와 가까울수록 성도와 음원사이에서 음의 연결 현상이 나타나 제1포먼트는 더욱 낮아지고 기저주파수는 높아지려는 현상에 의해 기저주파수가 높아진다는 설명이다. 이러한 가설에 의한다면 후두전적출술 이후 주파수에 영향을 줄 수 있는 요소들이 제거된 상태인 무후두음성에서는 모음의 고유한 기저주파수가 없다고 가정할 수 있다. 그러나 이 두 가설에 대한 비교검증을 통하여 무후두음성에서도 여전히 각 모음의 고유 기저주파수가 나타나고 이것은 각각의 모음에 대한 고유의 긴장도를 보이는 잔여 구조물들의 영향 때문이라고 설명 하였다[9].

본 연구에서는 식도발성에 나타나는 음향학적인 특성을 살펴보기 위해 고유기저주파수, 주파수 변동률, 강도, 진폭 변동률, 배음 대 소음 비율을 음향학적 지표로 사용하였다.

본 연구에서는 앞서 제시한 선행연구와 같이 식도발성의 기저주파수의 평균은 정상 음성의 기저주파수 평균보다 유의하

게 낮게 나타났고 표준편차 또한 크게 나타나 식도발성자의 개인차가 크게 존재함을 알 수 있었다. 특히 고모음의 기저주파수가 저모음보다 더 크게 낮고 전설모음이 후설모음보다 그 차이가 크게 나타났음을 알 수 있었다. <그림 1>은 식도발성군과 정상 발성군의 고유 기저주파수의 차이를 설명한 것이다.

주파수 변동률은 음도 변이의 규칙성·불규칙성을 상대적으로 평가하는 변인이다. 주파수 변동률은 후두 원음이 그려내는 파형의 불안정성을 표시해 주는 항목 중 하나로서 기저주파수 안에서 관찰되는 싸이클 간의 변이 양상을 수치화하여 보여준다[10].

식도발성의 주파수 변동률이 정상 음성의 분석 값보다 1.5배 더 높다는 선행연구[11]도 있었다. ‘참고문헌[12]’에서는 식도발성자의 주파수 변동률이 0.62~5.13%로 정상 발성자의 주파수 변동률인 0.01~3.06%보다 크게 나타난다는 연구도 있었다. 본 연구에서는 식도발성의 주파수 변동률이 정상 음성의 주파수 변동률보다 통계적으로 유의하게 높게 나타남으로써 선행연구 결과와 일치 하였다. 특히, /a/와 /i/에서 큰 차이를 보였고 이 중 /i/의 Jitter 값이 가장 크게 나타났다. 이는 모음 /i/가 physiological vowel이기 때문일 것으로 보여진다.

식도발성의 강도에 대한 연구[13]에서 식도발성자의 음성 강도가 정상 음성 강도보다 낮다는 결과가 있었으나 본 연구에서는 강도에 대한 유의성을 얻지 못하였다. 이는 영어와 한국어의 음성 강도의 차이와 본 연구의 대상이었던 식도발성자들이 식도발성에서 나타나는 강도의 감소를 보상하기 위해 더 많은 공기를 내보내는 것이 원인이 되었을 것이라고 추측하는 바이다.

진폭 변동률은 음성 강도 변이의 규칙성·불규칙성을 상대적으로 평가하는 변인이다. 후두 원음이 그려내는 파형의 불안정성을 표시해주는 항목 중 하나로서 특히 성대 진폭의 변이 양상을 수치화하여 보여준다. 주파수 변동률과 진폭 변동률은 병적 음성을 구분하는 대표적인 음향변수로서 그 타당도가 높는데 이 중 진폭 변동률은 ‘쉰 목소리’와 관련 있는 매개변수이다[14].

‘참고문헌 [15]’는 식도발성의 진폭 변동률이 정상 음성보다 높음을 증명하였다. 본 연구에서는 식도발성자의 음성의 진폭 변동률이 정상 음성의 진폭 변동률보다 높게 나타났고 그 차이가 통계적으로 유의함을 보였다. 특히, 저모음 /a/에서 차이가 크게 나타났는데 이는 모음 /a/가 음향 에너지가 강한 모음이라는 것과 관련 있다.

배음 대 소음 비율은 소음의 에너지에 비교하였을 때 배음의 에너지가 차지하는 비율을 나타낸다. 숙련정도에 따른 식도발성의 음향학적 특징을 한 연구에서는 식도발성 음성의 HNR 값이 정상 발성 음성보다 낮은 결과를 볼 수 있었다. 또한, 비숙련 식도발성자의 HNR이 숙련된 식도발성자의 HNR보다 더 낮은 값을 보임으로써 비숙련군이 소리의 잡음 정도가 증가하

여 숙련이 덜 될수록 목소리의 거친 정도(roughness)가 증가한다고 보고하였다[16].

본 연구에서는 식도발성자의 배음 대 소음 비율이 정상 음성을 가진 대조군의 값보다 확연히 낮게 나타났고 그 차이가 통계적으로 유의하여 앞서 제시한 선행 연구 결과와 일치하였다. 각 모음의 차이에서는 특히 고모음 /i/에서 HNR이 가장 큰 차이가 나타났다.

식도발성군의 억양의 형태를 비교 분석한 결과, 정상 발성에서 의문문의 억양형태는 상승조이고 서술문의 형태는 하강조였다. 그러나 식도발성군의 억양 형태는 그 형태가 일괄적이지 않고 다양하게 나타났다. <그림 2>와 같이 식도발성군의 서술문의 억양형태는 하강조인 대조군에 비하여 상승조이거나 변화가 적은 하강조의 형태를 보였다. <그림 3>에서 의문문의 억양 형태는 정상 발성군과 달리 하강조이거나 변화가 적은 상승조의 형태임을 보여준다.

마지막으로 본 연구에서의 제한점으로 피실험인 설정에 있어 숙련된 발성자의 기준 설정이 모호했던 점, 그리고 적은 수의 대상자를 대상으로 연구가 진행된 점을 들 수 있겠다. 그리고 식도발성 화자들이 산출하는 자연스러운 발화를 분석하여 그들의 자발화 산출 시 나타나는 말소리의 특징을 객관적으로 분석하고 음성의 문제가 그들의 실제 삶의 질에 어떤 영향을 끼치고 있는가에 대한 후속연구도 진행되기를 기대해 본다.

참고문헌

[1] S.E. Sedory, S.L. Hamlet, N.P. Connor. (1989). Comparisons of perceptual and acoustic characteristics of tracheoesophageal and excellent esophageal speech, *Journal of speech an hearing disorders*. Vol. 54, 209-214.

[2] Bennett S., Weinberg B. (1973). Acceptability ratings of normal esophageal and artificial larynx speech, *Journal of speech and Hearing Research*. Vol. 16, 608-615.

[3] Andrew Sekey. (1982). *Eletroacoustic analysis and enhancement of alaryngeal speech*. United States: Charles C. Thomas.

[4] Nancy L., Weinberg B. (1972). Formant Frequency Characteristics of esophageal speech. *Journal of speech and Hearing Research*. Vol. 15, 439-448.

[5] Park, K. J., Choi, H. S., Chung, H. J., Yoo, S. Y., Park, J. H., Kim, H. S., (1998). The Aerodynamic Analysis between Normal Voice and Esophageal Voice, *The journal of the Korean Society of Logopedics and Phoniatics*, Vol. 9, No. 1, 5-10.
(박국진, 최홍식, 정형진, 유신영, 박준호, 김한수 (1998). 정상 인과 식도발성 음성에서의 공기역학적 비교 연구. 대한후두음성언어의학회지, 9(1), 5-10.)

[6] Gandour J, Weinberg B. (1983). Perception of Intonational Contrasts in Alaryngeal Speech, *Journal of speech and Hearing Research*. Vol. 26, 142-148.

[7] Ohala JJ. (1973). *Explanation for the intrinsic pitch of vowels*. Berkeley: Phonology Laboratory University of California.

[8] Atkinson JE. (1978). Correlation analysis of the physiological factors controlling fundamental voice frequency, *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 63, 211-222.

[9] Hong, K. H., Kim, S. W., Kim. H. G. (1998). Intrinsic Fundamental Frequency(Fo) of Vowels in the Esophageal Speech, *The Journal of the Korean society of phoniatics and logotedics*. Vol. 9, No. 2, 142-146.
(홍기환, 김성완, 김현기 (1998). 식도음성의 고유기저주파수 발현 현상. 대한음성언어의학회지, 9(2), 142-146.)

[10] Ko, D. H., Jeong, O. R., et al. (2001). *Umseong mit eoneobunseokgigi Whalyongbeop*. Seoul: Hankukmunwhasa.
(고도홍, 정옥란 외 공편 (2001). 음성 및 언어 분석기기 활용법, 한국문화사.)

[11] Snidecor J.C., Curry E.T. (1959). Temporal and pitch aspects of superior esophageal speech, *The Annals of Otology, Rhinology, and Laryngology*. Vol. 68, 1-14.

[12] Smith B., Weinberg B., Feth L.L., Horii Y. (1978). Vocal jitter and roughness characteristics of vowels produced by esophageal speaker. *Journal of speech and Hearing Research*. Vol. 21, 240-249.

[13] Weinberg B. (1980). *Readings in Speech Following Total Laryngectom*. Baltimore: Univ Park.

[14] Yumoto, Eiji Sasaki, Yumi Okamura, Hiroshi. (1984). Harmonics-to-noise ratio and psychophysical measurement of the degree of hoarseness, *Journal of speech and Hearing Research*. Vol. 27, 2-6.

[15] Choi, S. H., Choi, H. S., Kim, H. S., Lim, S. E., Lee, S. H., Pyo, H. Y. (2003). Analysis of Acoustic Characteristics of Vowel and Consonants Production Study on Speech Proficiency in Esophageal Speech, *Speech science*. Vol. 3, No. 3, 7-27.
(최성희, 최홍식, 김한수, 임성은, 이성은, 표화영 (2003). 식도 발성의 숙련 정도에 따른 모음의 음향학적 특징과 자음 산출에 대한 연구. 음성과학, 10(3), 7-27.)

[16] Cynthia B. Angermeier, Weinberg B. (1981). Some aspect of fundamental frequency control by esophageal speakers, *American Speech-Language-Hearing Association*. Vol. 46, 85-91.

- **윤은미 (Yun, Eunni)**
전북대학교 대학원 언어치료학과 박사과정/RISS
전주시 덕진구 건지로 20
E-mail: ab-yz@hanmail.net
관심분야: 다문화 의사소통, 조음장애, 음성장애

- **목은희 (Mok, Eunhee)**
전북대학교 대학원 언어치료학과 석사
전주시 덕진구 건지로 20
E-mail: mokeh@naver.com
관심분야: 음성장애

- **판후응옥민 (Phan huu Ngoc Minh)**
전북대학교 의학전문대학원 이비인후과학교실
전주시 덕진구 건지로 20
Email: hanhuungocminh@gmail.com
관심분야: 음성장애

- **홍기환 (Hong, Kihwan), 교신저자**
전북대학교 의학전문대학원 이비인후과학교실
전주시 덕진구 건지로 20
E-mail: khhong@chonbuk.ac.kr
관심분야: 음성장애