

갑상선 수술 후 성대마비 환자의 기식 음성에 대한 공기역학적 및 음향적 분석

An Aerodynamic and Acoustic Analysis of the Breathy Voice of Thyroidectomy Patients

강 영 애¹⁾ · 윤 규 철²⁾ · 김재옥³⁾

Kang, Youngae · Yoon, Kyuchul · Kim, Jaeock

ABSTRACT

Thyroidectomy patients may have vocal paralysis or paresis, resulting in a breathy voice. The aim of this study was to investigate the aerodynamic and acoustic characteristics of a breathy voice in thyroidectomy patients. Thirty-five subjects who have vocal paralysis after thyroidectomy participated in this study. According to perceptual judgements by three speech pathologists and one phonetic scholar, subjects were divided into two groups: breathy voice group (n = 21) and non-breathy voice group (n = 14). Aerodynamic analysis was conducted by three tasks (Voicing Efficiency, Maximum Sustained Phonation, Vital Capacity) and acoustic analysis was measured during Maximum Sustained Phonation task. The breathy voice group had significantly higher subglottal pressure and more pathological voice characteristics than the non breathy voice group. Showing 94.1% classification accuracy in result logistic regression of aerodynamic analysis, the predictor parameters for breathiness were maximum sound pressure level, sound pressure level range, phonation time of Maximum Sustained Phonation task and Pitch range, peak air pressure, and mean peak air pressure of Voicing Efficiency task. Classification accuracy of acoustic logistic regression was 88.6%, and five frequency perturbation parameters were shown as predictors. Vocal paralysis creates air turbulence at the glottis. It fluctuates frequency-related parameters and increases aspiration in high frequency areas. These changes determine perceptual breathiness.

Keywords: Thyroidectomy, breathy voice, perceptual judgement, aerodynamic analysis, acoustic analysis

1. 서 론

갑상선(방패샘, thyroid gland)은 나비넥타이 모양으로 후두와 기관지상부 앞쪽에 위치하며, 바깥쪽은 피막으로 싸여있어 하나의 형태를 띠지만, 안쪽에는 불규칙한 소엽(lobule)들로 나뉜다. 각 소엽에서는 내분비세포에서 분비하는 갑상샘 호르몬이

들어 있으며 분비량에 따라 기능항진 혹은 기능저하증을 겪게 되어 약물 치료가 필요하다. 갑상선 기능과 무관하게 갑상선에 혹이 생길 수 있는데, 이런 혹은 결절이거나 암일 가능성이 높으며, 결절의 크기가 크거나 암일 경우에는 수술을 시행하게 된다.

갑상선은 상갑상선동맥과 하갑상선동맥으로부터 혈액을 공급받고, 미주신경(vagus nerve)의 가지인 상후두신경(superior laryngeal nerve, SLN)과 반회후두신경(recurrent laryngeal nerve, RLN)의 지배를 받는데, 그 중에서도 RLN은 좌측(Lt)과 우측(Rt)으로 나뉜다. Lt. RLN은 대동맥궁을 돌아서 상행하여 갑상선 하단에서 하갑상선동맥 뒤쪽 또는 분지 사이로 교차 주행하는 반면, Rt. RLN은 쇄골하동맥 밑을 돌아 하갑상선동맥 분지

1) 충남대학교 redoffice1@yahoo.co.kr, 제1저자

2) 영남대학교 kyoona@ynu.ac.kr

3) 강남대학교 jaeock@gmail.com, 교신저자

접수일자: 2012년 4월 25일

수정일자: 2012년 5월 14일

게재결정: 2012년 5월 22일

로 교차하기 보다는 외측에 위치한다. 그렇기 때문에 흉부 수술이 시행될 경우 Lt. RLN의 손상 위험이 높고, 갑상선 혹은 부갑상선 수술 같은 경추 부위 수술의 경우에는 Rt. RLN 손상 위험이 높다[1].

갑상선 수술 경험이 많은 술자라도 0.3%~2%의 RLN 손상 빈도를 보고하고 있으며[2], 압 침범이 넓고, 깊은 종양의 경우, 조직을 최소화하기 위해서는 RLN의 보존이 어려울 수 있다[3].

갑상선 수술을 받게 되면 일시적 혹은 영구적으로 성대마비를 보일 수 있는데, 한 연구에 따르면, 370명 수술 환자 중 11명(3.2%) 환자에서 일시적 편측성대마비를 보였고, 이중 1명(0.3%)만이 영구 성대마비가 되었으며, 양측 성대마비를 보인 2명(0.58%)에서는 영구마비를 보이지 않았다. 성대마비는 수술 횟수와 수술 위치, 수술 중 RLN 무확인(non-identification of RLN during surgery), 또는 악성 질병의 유무에 따라 유의하게 증가된다[4].

갑상선 수술로 인한 음성변화는 다양하게 보고되는데, 수술 후 음향학적 검사 결과에서 환자의 36%가 호전을 보였고, 47%는 변화가 없었으며, 17%는 더 악화되었다[5]. 또한, 갑상선 수술 후 후두 신경이 보존된 환자들도 발생 피로, 고음과 저음 발생의 어려움, 경미한 쉼 목소리를 호소하는 것으로 알려졌다[6][7].

갑상선 수술로 인한 음성변화 원인으로는 후두신경손상, 수술 중 의인성 신경 외상(iatrogenic nerve trauma), 수술 연속선상의 심인성 발생불능증(psychogenic dysphonia), 갑상선 혹은 수술 당김으로 인한 띠 근육(strap muscles) 혹은 신경 눌림, 삼관으로 인한 후두 상처, 목의 질량 변화로 인한 부적응 발생 행동, 수술시기의 내분비 변화로 파악한다[1]

갑상선 수술 후 음성을 진단하기 위해 일반적으로 후두내시경(laryngeal endoscopy)을 이용한 육안검사, 청지각적 평가(auditory perceptual evaluation), 음향적 검사(acoustic analysis), 공기역학적 검사(aerodynamic analysis)가 실시된다. 이중 특히 청지각적 평가는 음질을 하나의 개별 요소로 나누어 평가하는 것은 상당히 어려운 작업이며[8], 평가자 주관적 심리 반영, 숙련도, 음질 영향에 따라 일관성과 신뢰성에 문제를 보이고 있다[9][10][11]. 또한, 화자(speaker)의 지각력으로 음성장에 심각도를 측정한다고 하여도 화자 스스로 음성에 대한 문제 지각력이 매우 낮거나 혹은 지나치게 예민할 수 있어, 이처럼 음성 문제 지각 정도는 개인 성향에 따라 다르게 평가될 수 있다[12].

성대마비로 인한 음성의 대표적 특징으로 기식성(breathiness)을 들 수 있다. 음성에 기식성이 있다는 것은 성문의 공기 틈(air leakage)과 발생 시 난기류성 소음(turbulence noise)의 출현을 의미한다. 발생 시 성문의 공기 틈은 공기역학적으로 평균흐름기류율(mean flow rate, MFR)에 직접적인 영향을 주지만, 발생 시 혀와 안에 이용 가능한 총공기량과 관련된 최대연장발성(maximum phonation time, MPT)이나 폐활량(vital capacity) 측정

에는 간접적인 영향을 준다[13]. 성대마비로 인한 음성은 MFR이 증가함에도 불구하고, 성대의 긴장성과 성대내전력(medial compression)의 감소로 음향적으로는 음성 강도가 전반적으로 감소한다. 이는 발생 효율(vocal efficiency)과 연결하여 생각하면, 넓어진 성문 틈으로 음성 강도가 감소하고 이를 보상하기 위하여 발생 노력(phonatory effort)은 증가되어, 결과적으로는 발생 효율(vocal efficiency)이 감소된다.

음향적 측면에서 기식음을 살펴보면, 기식음은 성대의 불완전전환(incomplete) 내전으로 인하여 나타나며, 제1 배음(first harmonic)의 강도 증가를 보인다[14][15]. 하지만 제1 배음의 강도 증가만 있다고 만장일치로 기식성이 있다고 판단되어지지 않으나, 고주파 소음(noise) 증가를 함께 보인다면 청지각적으로 기식성이 확실하게 판단된다[1]. 쉽게 말해, 성문근처에서 발생하는 난기류(turbulence)로 인하여 고주파에서 소음(aspiration noise)이 존재하고, 이 소음이 제 1배음의 상승과 더불어서 청자의 청지각적 기식 평가에 영향을 준다는 것이다.

청지각적 평가와 음향적 검사 변수 사이의 상관 연구에서, Multi-Dimensional Voice Program(MDVP)의 19개 변수 중 3개의 변수만이 GRBAS 척도와 상관이 있다고 보고되었으며, 구체적으로 살펴보면 VTI 변수와 G, NHR은 R과 G, SPI는 B와 A와 높은 상관을 보였지만, S와 상관이 있는 음향 변수는 없었다[16]. 이렇듯, 기식성 판단은 고정적으로 존재하는 현상의 투사가 아니라 가변적인 공기흐름과 성대진동의 불규칙성이 만들어 내는 지각영역에 속하는 것으로, 기식성을 논할 때는 공기역학과 음향적 분석이 함께 시행되어야 할 것이다. 하지만 많은 선행연구에서는 동일 대상군으로 공기역학과 음향적 검사를 함께 비교한 경우가 충분하지 않으며, 또한 임상에서 사용되는 객관적인 음성분석 도구인 PAS와 MDVP의 수 많은 변수 중 기식성과 관련되는 변수가 무엇인지 확인할 필요가 있을 것이다. 즉, 국외 연구인 [16] 결과처럼, SPI 변수가 기식성 예측 변수로 국내환자에게도 그대로 적용할 수 있는지 확인 작업이 필요하다. 그 결과에 따라 음성치료시 예측변수의 변화만으로도 치료효과를 객관적으로 말할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 성대마비로 진단된 환자를 대상으로, 청지각적으로 기식성(audible breathy voice)이 있는 경우와 기식성(non-audible breathy voice)이 없는 경우 간에 어떠한 차이가 있는지 공기역학적 및 음향적 변수를 이용하여 분석하여, 기식성을 예측해 줄 변수가 무엇인지 확인하고자 하였다.

2. 연구 대상 및 절차

2.1. 연구 대상

본 연구는 부천 소재의 모 대학병원에서 2011년 6월부터 2012년 2월까지 갑상선 수술을 받은 환자 중 음성 변화를 인식하고 이비인후과로 내원한 환자 중, 후두내시경 검사 상 성대마

비로 진단받은 35명을 대상으로 하였다. 모든 환자들은 일반 외과에서 갑상선 수술을 받았으며, 음성평가는 수술 후 1~2개월 사이에 실시하였다.

2.2. 공기역학적 검사 및 음향적 검사

공기역학적 검사인 Phonatory Aerodynamic System(PAS; Model 6600, KayPentax Inc., USA)과 음향적 검사인 MDVP(Model 5105, KayPentax Inc., USA)를 사용하였다.

PAS를 통해 시행한 검사 과정은 3가지로, (1) 파열음 /파/를 연속 발생하여 발생효율역치를 확인하는 과제(voicing efficiency threshold, VOFT), (2) /아/ 모음을 최대한 지속하여 공기흐름, 음압, 음도를 측정하는 최대모음연장발성 과제(maximum sustained phonation, MXPH), (3) 호흡-발성에 활용될 수 있는 잠재된 최대한의 공기량을 측정하는 폐활량 과제(vital capacity, VTCP)이며, 각 과정을 통해 산출되는 변수의 목록은 <부록 1>에 제시하였다.

MDVP 검사 과정은 /아/ 모음을 연장 발생하여 그중 4초 구간을 선택 분석하였다. 환자는 최대한 편안히 착석한 상태에서 마이크를 입으로부터 10cm 내외에 유지시켜, 90도 각도로 고정하였다. 단일지향성 다이내믹 마이크(Shure SM48, Shure Inc, USA)를 사용하였고, PRE-amplification system(creative SB audigy2 ZS)을 거쳐 녹음하였으며, 표본추출률(sampling)은 50,000 Hz, 양자화(quantization)는 16 bit로 하였다.

환자가 녹음으로 인해 긴장을 보일 경우, 모음 /아/ 앞에 “아빠, 아빠” 등과 같은 한두 어절을 삽입하여 습관적 음도가 나오도록 유도하였다.

MDVP에서 분석하는 변수는 총 34개이며, 이를 8개 항목으로 묶을 수 있다[17][18][19]. 8개 항목 분류와 하위 변수 목록은 <부록 2>에 제시하였다.

2.3. 청지각적 평가

청지각적 평가는 음성장애를 전공하였고, 3년 이상의 음성치료 임상 경험이 있는 3명(박사 2명, 박사수료 1명)의 1급 언어치료사와 1명의 현직 음성학자가 실시하였다. 기식성에 대한 청지각적 평가에 대한 선입견을 배제하기 위하여 이들에게 성대마비환자의 음성이라는 부가설명을 사전에 제공하지 않았다.

청지각적 평가는 현재 임상에서 널리 사용되고 있는 GRBAS 척도를 사용하였으며, 이 척도는 1975년 일본 음성언어의학회가 제안한 것으로, 음성에 대한 전체적인 선 정도(Grade, G), 거친 정도(Rough, R), 기식 정도(Breathy, B), 약한 정도(Asthenic, A), 귀어짜는 정도(Strained, S)로 각각 세분화하여 음질을 평가한다. 0점부터 3점까지의 4점 척도를 가진 총화평정 척도(Likert scale)로, 0점은 정상 음성이고 3점으로 갈수록 손상정도가 심한 음성을 뜻한다[20].

평가에 사용된 음성파일은 MDVP 분석에 사용한 4초의 /아/

모음 연장발성 파일을 평균 75dB 강도 보정작업을 하여 사용하였다. 강도를 보정한 이유는 강도가 지각에 영향을 줄 수 있다고 판단하였기 때문이다.

청지각적 평가는 프랏의 스크립트 기능을 이용하여 자동 재생되도록 만들었으며, 음성파일 당 2번 연속 무작위(random) 방식으로 재생되도록 하였으며, GRBAS 척도의 항목별로 평가를 하게 하였고, 평가 중간이라도 재생을 원할 경우, 원하는 횟수 만큼 자율적으로 들을 수 있게 세팅하였다.

평가자 내 신뢰도 평가를 위하여 청지각적 평가는 모든 평가자에서 1차와 2차로 나누어 실시하였고, 1차와 더불어 2차에도 35개 파일 모두를 사용하였다. 본 연구는 기식성에 관한 연구이므로 GRBAS 척도 중 Breathiness 항목만을 사용하여, B0와 B1~B3으로 나누어 기식성 유무에 따라 청지각적으로 기식성이 있는 집단과 기식성이 없는 집단으로 나누었다.

평가자 4인이 각 2회씩 실시한 총 8회 평가 결과 모두에서 B1~B3로 평가된 음성은 청지각적으로 기식성이 있는 집단(기식_유 집단)으로 분류하고 1회라도 B0로 평가되었으면 청지각적으로 기식성이 없는 집단(기식_무 집단)으로 분류하였다.

Breathiness 4점 척도(b0, b1, b2, b3)에 대한 [평가자 A] 내 Spearman's ρ 는 0.969($p<0.01$)이며, [평가자 B]는 0.865($p<0.01$), [평가자 C]는 0.807($p<0.01$), [평가자 D]는 0.784($p<0.01$)로 모든 평가자에서 평가자 내 신뢰도가 높았다. 4명의 평가자 간 Cronbach's α 계수는 0.951로 평가자 간 신뢰도 또한 높게 나타났다.

전체 35명 대상자는 21명의 기식_유 집단과 14명의 기식_무 집단으로 나뉘었고, 대상자에 대한 상세 정보는 <표 1>에 제시하였다.

표 1. 대상자 상세 정보

Table 1. Information of subjects

		남	여	총
사례수		4	31	35
연령(M±SD)		49.3±2.1	51.3±6.2	50.7±6.0
기식_유	사례수	3	18	21
	연령(M±SD)	47.6±3.7	50.7±4.8	50.3±4.6
기식_무	사례수	1	13	14
	연령(M±SD)	53.0±0.0	51.6±7.7	51.7±7.2
수술명	T.T	2	24	26
	Lt. lobectomy	1	4	5
	Rt. lobectomy	1	1	2
	Sub total	-	2	2

M±SD: 평균±표준편차, T.T: total thyroidectomy

2.4. 분석방법

SPSS 13.0™(SPSS Inc., Chicago, IL)을 이용하여, 공기역학 검사와 음향적 검사별 변수들의 기식 유무 집단 간 평균 차이를 5% 유의수준에서 독립 표본 *t*-검정을 실시하여 살펴보고, 공기역학과 음향적 검사 각각에서 로지스틱 회귀분석(logistic regression)의 stepwise 방식을 적용하여, 기식성 판단에 예측 변수를 알아보았다.

변수 간 상관이 높은 변수들이 많으면 다중공선성 문제로 로지스틱 회귀분석 결과를 신뢰할 수 없게 되는데, PAS와 MDVP 변수들이 이런 경우가 많았다. 분석방식들이 유사하고, 해석이 동일한 범주 군으로 묶일 수 있는 많은 변수들이 높은 상관을 보였다. 다중공선성 문제를 제거하기 위해서는 상관이 높은 변수를 제거하거나, 상관이 높은 변수를 대변해 줄 새로운 수치 즉, 요인(factor)을 생성하여 분석에 적용하는 방법이 있다.

공기역학 검사는 과제별로 주성분 분석을 실시하여 요인을 생성하였으며, 음향적 검사는 8개 항목별 요인을 생성한 후 로지스틱 회귀분석에 적용하였다.

3. 연구 결과

3.1. 공기역학적 검사 결과

기식_유 집단과 기식_무 집단 간의 세 과제별 독립 표본 *t*-검정을 실시한 결과,

(1) VOFE 과제에서 두 집단 간 유의한 차이가 있는 변수는 Maximum sound pressure level(MAXDB), Mean sound pressure level(MEADB), Mean sound pressure level during voicing(PHODB), Pitch range(RANP), Peak air pressure(PAP), Mean peak air pressure(MPAP), Peak expiratory airflow(PEF), Target airflow(TARF), Expiratory volume(FVC), Mean airflow during voicing(MEPHO), Aerodynamic power(APOW), Aerodynamic resistance(ARES), Aerodynamic efficiency(AEFF)로 13개였다.

(2) MXPH 과제에서는 총 6개 변수가 통계적으로 유의한 차이를 보였고, 유의한 변수로는 Maximum sound pressure level(MAXDB), Mean sound pressure level(MEADB), Mean sound pressure level during voicing(PHODB), Phonation time(PHOT), Peak expiratory airflow(PEF), Mean expiratory airflow(MEAF)였다.

(3) VTCP 과제에서는 집단 간 유의한 차이가 있는 변수가 없었다.

두 집단 간 유의한 차이를 보이는 변수의 집단 간 기술통계량은 <표 2>에 제시하였다.

표 2. PAS의 3 과제별 유의한 변수 및 기술통계량
Table 2. Significant parameters of PAS & statistics

Protocols Parameters	Group statistics(M±SD)		<i>p</i> §
	Breathy voice	Non-Breathy voice	
Voicing Efficiency(VOEF)			
MAXDB	83.60±4.38	89.46±3.46	<.001
MEADB	78.29±5.00	85.30±3.73	<.001
PHODB	78.26±5.13	85.32±3.71	<.001
RANP	114.35±80.38	61.06±57.42	.041
PAP	18.16±7.25	12.93±3.44	.018
MPAP	15.50±6.91	10.95±2.84	.027
PEF	1.01±0.73	0.20±0.18	<.001
TARF	0.58±0.55	0.13±0.09	.002
FVC	0.74±0.39	0.27±0.25	<.001
MEPHO	0.56±0.56	0.12±0.09	.003
APOW	1.04±1.52	0.15±0.14	.017
ARES	37.67±21.31	154.68±186.90	.036
AEFF	36.91±59.06	871.91±1107.96	.015
Maximum Sustained Phonation(MXPH)			
MAXDB	83.36±4.38	88.75±4.61	.002
MEADB	77.26±5.18	82.61±5.26	.006
PHODB	77.27±5.30	82.63±5.24	.006
PHOT	4.24±2.14	13.38±5.36	<.001
PEF	0.58±0.34	0.20±0.18	.001
MEAF	0.38±0.26	0.09±0.08	<.001
Vital Capacity(VTCP)			
none			

§ Independent samples *t*-test

세 과제별 변수에 대하여 주요인 분석을 실시하여, (1) 과제에서는 4 요인을 생성하였고, (2) 과제에서는 3 요인, (3) 과제에서는 1 요인을 생성하였다. 총 8 요인을 대상으로 로지스틱 회귀분석을 실시한 결과, 방정식에 진입한 단계가 2 단계였으며 각 단계의 Hosmer & Lemeshow 검정의 카이제곱 값이 4.460(*df*=8, *p*=0.813), 0.699(*df*=8, *p*=1.000)로 유의하지 않게 나타나 모형 적합도를 수용할 수 있었다. 1 단계에서 방정식에 진입한 요인은 (2) 과제 변수 중 [MAXDB, RANDB, PHOT]로 묶인 요인(*df*=1, *p*=0.002)이었으며, 2 단계에서는 1 단계에 진입된 요인(*df*=1, *p*=0.014)과 (1) 과제 변수 중 [RANP, PAP, MPAP]로 묶인 요인(*df*=1, *p*=0.035)이었다. 2 단계까지 진입된 요인으로 94.1% 분류정확도를 가지고 기식성 집단을 판별할 수 있다(<표 3> 참조).

표 3. 기식 유무 집단 분류표
Table 3. Classification of breathy voice groups

		예측값		
		기식_유	기식_무	분류정확도(%)
1 단계	기식_유	17	3	85.0
	기식_무	3	11	78.6
	전체			82.4
2 단계	기식_유	20	0	100.0
	기식_무	2	12	85.7
	전체			94.1

3.2. 음향적 검사 결과

기식_유 집단과 기식_무 집단 간의 독립 표본 t-검정 결과, 34개 변수 중 21개 변수가 유의미한 차이가 있었으며, Highest fundamental frequency(Fhi), Standard deviation of F0(STD), Phonatory F0-range in semi-tones(PFR), Absolute jitter(Jita), Jitter percent(Jitt), Relative average perturbation(RAP), Pitch perturbation quotient(PPQ), Smoothed pitch perturbation quotient(sPPQ), Fundamental frequency variation(vF0), Shimmer in dB(ShdB), Shimmer percent(Shim), Amplitude perturbation quotient(APQ), Smoothed amplitude perturbation(sAPQ), Peak-to-peak amplitude variation(vAm), F0-tremor intensity index(Ftri), Degree of voiceless(DUV), Number of unvoiced segments(NUV), Degree of voice breaks(DVB), Number of voice breaks(NVB), Noise to harmonic ratio(NHR), Voice turbulence index(VTI)이며, 유의확률과 집단 간 평균과 표준편차를 정리하면 <표 4>와 같다.

남녀 기본주파수 수치는 일반적으로 다른 값을 보이므로 성별 합산으로 분석한 결과에 영향을 줄 수 있다는 판단에 남성을 제외한 여성군만을 대상으로 검정한 결과, 본 결과와 변동이 없었음을 확인하였다.

MDVP의 8개 항목별 요인 생성 한 결과, Fundamental frequency parameters 항목에서만 3 요인이 생성되었고, 나머지 7개 항목에서는 각 1 요인씩만 생성되었다. 총 8 요인에 대한 로지스틱 회귀분석을 실시한 결과, Hosmer & Lemeshow 검정의 카이제곱 값이 2.405(df=7, p=0.934)로 모형의 적합도를 확인하였다. 기식성 집단 판별을 할 경우 분류정확도는 88.6%로 높았다(<표 5> 참고). 방정식에 포함된 요인으로는 Frequency perturbation parameters 항목의 전체 변수가 묶여져서 생성된 1개 요인이 통계적으로 유의하였다(df=1, p=0.007).

표 4. MDVP의 유의한 변수 및 기술통계량
Table 4. Significant parameters of MDVP & statistics

Category Parameters	Group statistics(M±SD)		p [§]
	Breathy voice	Non-Breathy voice	
Fundamental Frequency Parameters			
Fhi	300.91±119.96	200.86±63.02	.007
STD	38.12±43.44	5.91±9.76	.003
PFR	14.07±8.35	4.85±5.50	<.001
Frequency Perturbation Parameters			
Jita	303.68±251.44	52.23±24.73	<.001
Jitt	5.76±4.16	1.00±0.69	<.001
RAP	3.31±2.35	0.60±0.42	<.001
PPQ	3.73±2.95	0.57±0.39	<.001
sPPQ	5.88±6.83	0.79±0.37	.004
vF0	16.31±16.64	2.98±4.14	.002
Amplitude Perturbation Parameters			
ShdB	1.18±0.95	0.39±0.19	.001
Shim	13.44±10.91	4.43±2.07	.001
APQ	10.26±8.90	3.12±1.44	.002
sAPQ	9.30±6.30	4.64±1.73	.006
vAm	24.78±12.17	14.26±5.90	.002
Tremor Parameters			
FTRI	1.66±2.02	0.36±0.34	.019
Voice Irregularity Parameters			
DUV	38.64±40.13	0.48±0.81	<.001
NUV	48.71±52.73	0.64±1.08	<.001
Voice Break Related Parameters			
DVB	16.22±29.12	0.00±0.00	.019
NVB	0.66±1.15	0.00±0.00	.016
Noise Parameters			
NHR	0.38±0.42	0.13±0.02	.015
VTI	0.09±0.09	0.04±0.00	.039

§ Independent samples t-test

표 5. 기식 유무 집단 분류표
Table 5. Classification of breathy voice groups

		예측값		
		기식_유	기식_무	분류정확도(%)
기식_유		19	2	90.5
기식_무		2	12	85.7
전체				88.6

4. 결론 및 논의

갑상선 수술을 받고 후두 내시경 소견상 성대마비로 진단 받은 환자를 대상으로 기식 음성의 공기역학과 음향적 특성을 살펴 본 결과를 정리하면 다음과 같다.

공기역학적 검사 결과, 첫째, 파열음 /파/ 연속발성으로 성문하압을 간접적으로 측정할 수 있는 과제에서는 기식_유 집단과 기식_무 집단 간 평균의 차이가 있었으며, MAXDB, MEADB, PHODB, ARES, AEFV 변수들의 수치가 기식_무 집단이 기식_유 집단에 비해 높았다. 이와는 반대로, RANP, PAP, MPAP, PEF, TARF, FVC, MFPHO, APOW 변수들의 수치는 기식_유 집단이 기식_무 집단보다 높았다.

기식_유 집단에서 FVC, PAP, MPAP 변수들의 수치가 기식_무 집단에 비해 높은 것은 성문으로 나오는 공기압력은 더 높고 공기량이 더 많다는 것을 의미하며, PEF, TARF, FVC, MEPHO 변수들의 수치가 더 높은 것은 성대 사이로 공기가 일정하게 나오는 것이 아니라 한꺼번에 많은 공기가 빠져 나오는 것을 의미한다. 그리고 기식_무 집단의 MAXDB, MEADB, PHODB 변수들의 수치가 높다는 것은 기식_무 집단이 기식_유 집단에 비해 높은 음성강도를 산출한다는 것을 말한다. 이를 종합하여 두 집단에서 APOW, AREA 및 AEFV와의 관계를 살펴보면, 기식_무 집단은 성대접촉이 잘 되어 낮은 성문하압과 호기류율로도 높은 음성강도를 산출할 수 있어 결과적으로 음성효율성이 높은 반면, 기식_유 집단은 성대접촉이 기식_무 집단에 비해 낮아 성문하압과 호기류율을 높여도 음성강도를 높이기 어려워 음성효율성이 낮음을 알 수 있다.

둘째, /아/ 모음연장발성 과제에서는 MAXDB, MEADB, PHODB, PHOT 변수들의 수치는 기식_유 집단에 비해 기식_무 집단에서 높았고, PEF와 MEAF는 기식_유 집단에서 높았다. 이는 기식_유 집단이 호기량이 많고, 발생시간이 짧음을 의미한다.

셋째, 기식성을 나누는 공기역학적 검사의 예측 변수로 로지스틱 분석 결과, [MAXDB, RANDB, PHOT], [RANP, PAP, MPAP] 변수로 나타났다. 음강도, 강도범위 및 발생길이 변수를 바탕으로 82% 정도 기식성 여부를 판별할 수 있으며, 여기에 음도와 성문하압력 변수 확인을 더하면 94% 기식성 여부를 판별할 수 있다. 다시 말해, PAS의 29개 변수 중 6개 변수(MAXDB, RANDB, PHOT, RANP, PAP, MPAP)가 기식성 평가의 예측변수가 된다.

RANDB 경우, 기식_유와 기식_무 간의 평균 차이는 크지 않았지만, RANP 경우, 기식_유 집단이 기식_무 집단보다 높은 음도를 보이고 있다. 이는 기식 소리에 대한 소음성 증가와 이를 보상하고자 하는 환자의 노력으로 음도가 상승되었다고 생각한다.

음향적 검사 결과, 첫째, 집단 간 *t*-검정을 실시한 후 유의한 변수들의 기술통계량을 살펴보면, 기식_유 집단의 변수 수치가

기식_무 집단의 변수 수치보다 모두 높았다. 이는 MDVP 검사 결과상 높은 수치가 성대의 병리적인 상태가 높다는 것을 의미하므로 자연스러운 결과로 보여진다.

둘째, 기식성을 나누는 음향적 검사의 예측 변수로는 로지스틱 분석 결과, 주파수 변동률 관련 변수인 [Jita, Jitt, RAP, PPQ, sPPQ, vF0]로, 이는 주파수 변동률 관련 6개 변수만으로 88.6% 정도로 기식성 여부를 판별할 수 있음을 의미한다. 즉, 음향적으로 기식성은 주파수 변동률 변수로 예측할 수 있다. 이 결과는 기식성의 상관 변수로 SPI를 선정한 연구결과[16]와 상이하다. 이런 결과 차이는 두 가지로 생각해 볼 수 있다. 우선, 분석에 포함된 변수의 개수 차이 때문으로 여겨진다. [16]에서는 34개 변수 중 모든 분석값이 존재하는 19개 변수만을 선택하여 분석하였으나 본 연구에서는 34개 모든 변수를 사용하였다. MDVP 프로그램을 사용하여 분석한 결과를 살펴보면, 34개 변수를 제공하지 않은 경우가 많다. 본 연구는 음향분석 기자제인 MDVP 장점이 최대변수양인 점을 수용하고자, 변수 34개 모두를 분석에 이용하였다. 그래서 특정 음성파일에서 특정 변수에 결측값이 존재하더라도 그 변수를 분석에서 제외시키지 않고, 결측값을 집단의 평균값으로 대체하여 요인을 구하였으므로 회귀분석에는 영향을 주지 않았을 것으로 판단한다. 본 연구 결과의 신뢰성을 위하여 결측값을 평균값으로 대체하지 않고 사례수에서 제외하여 분석할 경우에도 결과에는 변동이 없음을 확인하였다.

두 번째로는 기식성 음성에 내재될 수 있는 조조성(거친 정도)과 같은 다른 음질의 영향을 들 수 있다. 음성을 합성하여 샘플을 만들지 않는 이상, 기식성 음성에 없앨 다른 특질의 배제가 실질적으로 어려운 상황이다. 본 연구에서는 기식성에만 초점을 두고 청지각적 평가 결과를 얻었으므로, 본 연구 결과의 예측변수가 다른 음질 척도와 상관이 있는지 추후 살펴볼 여지가 있다고 생각한다.

본 연구에서는 수술 기법과 수술자에 따른 기식 유무 집단의 음성 비교를 실시하지 않았지만, 선행연구[1][7]에서처럼 갑상선 수술자의 수술 방식에 따른 음성변화는 통계적으로 유의하지 않았다고 한 점을 미루어볼 때, 본 연구의 기식성 집단에 따른 변수 차이가 수술기법과 수술자에 따른 차이가 아닌 것으로 판단된다. 또한, [7]에서는 성대마비의 편측성과 양측성에 대한 음성 변화에서도 유의한 차이가 없었고, 높은 음도 범위 상실은 상후두신경(superior laryngeal nerve, SLN) 손상 원인으로 판단하였다. 본 연구에서는 SLN 손상을 확인해줄 근전도검사(electromyography) 장비가 없어 이와 관련성을 설명하기 어렵지만, 기식_유 집단의 고음도 변수(Fhi)가 기식_무 집단보다 높은 수치를 보였다는 점은 성대 긴장을 담당하는 후두 내재근인 윤상갑상근(cricothyroid m.)의 활동에는 이상이 없는 것으로 판단되며, 정교한 음도 선정(fine tuning)은 RLN 지배를 받는 갑상피열근의 수축의 영향을 더 받을 것으로 여겨지므로 SLN의 손상

은 없다고 볼 수 있다.

본 연구의 기식_유 집단의 고음도(Fhi) 수치상승 원인에 대하여, 어느 연구가는 흉갑상근(sterno-thyroid m.)이 윤상갑상관절(cricothyroid joint) 주위에서 갑상연골을 하방으로 돌려주거나, 윤상연골 앞부분이 갑상연골과 피열연골에 밀착되어 성대 긴장을 높여주어 수술 후 음도상승이 되었다고 제안하였고[21], 다른 연구자는 흉설골근(sternohyoid m.)과 흉갑상근(sternothyroid m.)의 수축으로 후두 기관지(laryngo-tracheal)가 하방으로 내려져 성문하공간에 공기량이 많아졌기 때문이라고 보았다. 후두가 내려와 윤상갑상근 거리가 짧아지고, 이는 성대 길이를 늘려, 결과적으로 음도상승을 초래한다고 주장하였다 [22]. 공기역학적 검사를 실시한 본 연구의 결과를 바탕으로 할 때, [22]의 주장이 타당하다고 생각한다. 모든 대상자들이 성대마비군임에도 불구하고 기식_무 집단보다 기식_유 집단에서 음도가 상승하였고, 공기역학적으로는 성문하 공간에 공기량이 많음을 확인하였기 때문이다. 또한 임상에서 갑상선 수술 후 목 앞쪽 근육이 당긴다라고 호소를 많이 관찰하였다. 이런 관찰소견은 본 연구에서는 밝히지 못한 근 역할과 연관이 있다고 생각된다.

본 연구는 주관적 청지각적 평가 소견인 기식성에 대하여 객관적 분석도구인 공기역학적 및 음향적 검사 변수를 확인하고, 기식성을 예측할 수 있는 변수를 확인하고자 하였다.

후속 연구로는 기식성 등급에 따른 음향적 및 공기역학적 변화량을 살펴보는 것과 GRBAS 척도에서 기식성 이외 다른 청지각 척도와 객관적 검사 도구의 변수 간 상관 연구가 필요할 것으로 여겨진다.

감사의 글

음성녹음을 허락해주신 환자분들과 청지각적 평가에 참여해주신 평가자분들께 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

[1] Pauline, M., Carding, P. N., Howard, D. H. & Lennard, T. W.(2008). Change following thyroid and parathyroid surgery, *Journal of Voice*, Vol. 22, No. 6, 765-772.

[2] Clark, O. H.(1982). Total thyroidectomy: The treatment of choice for patients with differentiated thyroid cancer, *American Surgical Association*, Vol. 196, No. 3, 361-70.

[3] Han, K. Y., Hong, S. J., Hong, S. J., Lee, S. W., & Nam, S. Y.(2001). Voice and videostroboscopic analysis after neurolysis of recurrent laryngeal nerve injured during thyroidectomy, *Korean Journal of Otolaryngology-Head Neck Surgery*, Vol. 44, No. 7, 763-767.

(한경열, 홍석준, 홍석중, 이석우, 남순열 (2001). 갑상선절제술 시 손상된 반회후두신경에 대한 문합술 후의 음성 및 화상분석, 대한이비인후과학회지, 두경부외과학 44권 7호, 763-767.)

[4] Zakaria, H. M., Al Awad, N. A., Al Kreedes, A. S., Al-Mulhim, A. M. A., Al-Sharway, M. A., Hadi, M. A., & Al Sayyah, A. A. (2011). Recurrent laryngeal nerve injury in thyroid surgery, *Oman Medical Journal*, Vol. 26, No. 1, 34-38.

[5] Li, C., Tao, Z., Qu, J., Zhou, T., & Xia, F. (2010). A Voice acoustic analysis of thyroid adenoma patients after a unilateral thyroid lobectomy, *Journal of Voice*, Vol. 26, No. 1, e23-e26.

[6] Sinagar, D. L., Montesinos, M. R., Tacchi, V. A., Moreno, J. C., Falco, J. E., Mezzadri, N. A., Debonis, D. L., & Curutchet, H. P. (2004). Voice changes after thyroidectomy without recurrent laryngeal nerve injury, *Journal of the American College of Surgeons*, Vol. 199, No. 4, 556-560.

[7] Akyildiz, S., Ogut, F., Akyildiz, M., & Engin, E. Z. (2008). A multivariate analysis of objective voice changes after thyroidectomy without laryngeal nerve injury, *Archives of otolaryngology-Head & Neck Surgery*, Vol. 134, No. 6, 596-602.

[8] Gerratt, B. R., & Kreiman, J. (2001). Measuring vocal quality with speech synthesis, *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 110, No. 5, 2560-2566.

[9] Ma, E., & Yiu, E. (2006). Multiparametric evaluation of dysphonic severity, *Journal of Voice*, Vol. 20, No. 3, 380-390.

[10] Kent, R. D. (1996). Hearing and believing: Some limits to the auditory-perceptual assessment of speech and voice disorders, *Journal of Speech Language Pathology of America*, Vol. 5, 7-23.

[11] Kreiman, J., Gerratt, B., Kempster, G., Erman, A., & Berke, G. (1993). Perceptual evaluation of voice quality: review, tutorial and a framework for future research, *Journal of Speech and Hearing Research*, Vol. 36, No. 1, 21-40.

[12] Lee, O. B., & Kim S. Y.(2011). A study of the correlation between subjective and objective evaluation of voice disorders, *Journal of the Korean Society of speech Science*, Vol. 3, No. 3, 167-172.

(이옥분, 김소연 (2011). 음성장애 주관적 평가와 객관적 평가 간의 상관성 연구, 말소리와 음성과학 3권 3호, 167-172.)

[13] Hartl, D. M., Hansa, S., Vaissièreb, J., Riquetc, M., & Brasnu, D. F. (2001). Objective voice quality analysis before and after onset of unilateral vocal fold paralysis, *Journal of Voice*, Vol. 15, No. 3, 351-361.

[14] Klatt, D. H., & Klatt, L. C. (1990). Analysis, synthesis, and perception of voice quality variations among female and male

- talkers, *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 87, No. 2, 820-857.
- [15] Hillenbrand, J., Cleveland, R. A., & Erickson, R. L. (1994). Acoustic correlates of breathy vocal quality, *Journal of Speech and Hearing Research*, Vol. 39, No. 4, 769-778.
- [16] Bhuta, T., Patrick, L., & Garnett, J. D. (2004). Perceptual evaluation of voice quality and its correlation with acoustic measurements, *Journal of voice*, Vol. 18, No. 3, 299-304.
- [17] Pyo, H. Y. & Choi, H. S. (2001). *Usage of MDVP in voice and language analysis instruments*, Seoul: Hankookmunhwa, 173-177.
(표화영, 최홍식 (2001). 음성 및 언어분석기기 활용법-MDVP의 실제와 활용, 한국문화사, 173-177.)
- [18] Kim, J. O. (2009). Acoustic characteristics of the voices of Korean normal adults by gender on MDVP, *Journal of the Korean Society of speech Science*, Vol. 1, No. 4, 145-157.
(김재욱 (2009). 성별에 따른 한국 정상 성인 음성의 음향학적 평가 기준치. 말소리와 음성과학 1권 4호, 145-157.)
- [19] Kim, H. T., Cho, S. H., Youn, S. M., Sun, D. I., & Kim M. S. (2000). The changes and characteristics of acoustic parameters with aging in Korean, *Korean Journal of Otolaryngology-Head Neck Surgery*, Vol. 43, No. 1, 69-74.
(김형태, 조승호, 윤성문, 선동일, 김민석, 2000. 연령에 따른 한국인의 음향지표 변화와 특성, 대한이비인후과학회지, 두경부외과학, 43권 1호, 69-74.)
- [20] Hirano, M. (1981). *Clinical examination of voice*, New York: Springer Verlag.
- [21] Niimi, S., Horiguchi, S., & Kobayashi, N. (1991). *F0 raising role of the sternothyroid muscle-an electromyographic study of two tensors*, Stockholm; Singular Publishing Group Inc., 183-188.
- [22] Hong, K. H., Ye, M., Kim, Y. M., Kevorkian, K. F., & Berke, G. S. (1997). The role of strap muscles in phonation in vivo canine laryngeal model, *Journal of Voice*, Vol. 11, No. 1, 23-32.

- **강영애(Kang, Youngae), 제1저자**
대전광역시 유성구 궁동 220번지
Email: redoffice1@yahoo.co.kr
관심분야: 음성장애, 신경말-언어장애, 장애음성분석
현재 충남대학교 언어병리학과 시간강사
- **윤규철(Yoon, Kyuchul)**
경상북도 경산시 대동 214-1번지
Email: kyoona@ynu.ac.kr
관심분야: 운율분석, 전산언어
현재 영남대학교 문과대학 영어영문학부 조교수
- **김재욱(Kim, Jaeock), 교신저자**
경기도 용인시 기흥구 구갈동 111번지
Email: jaeock@gmail.com
관심분야: 음성장애, 말장애
현재 강남대학교 교육대학원 언어치료교육 전공 조교수

<부록 1> PAS 3 과제별 변수 목록

Protocols	Parameters(Abb.)	Parameters(Full name)	Unit
Voicing Efficiency(VOEF)			
	MAXDB	Maximum sound pressure level	dB
	MEADB	Mean sound pressure level	dB
	PHODB	Mean sound pressure level during voicing	dB
	MEAP	Mean pitch	Hz
	RANP	Pitch range	Hz
	FET100	Expiratory airflow duration	sec
	PAP	Peak air pressure	cmH ₂ O
	MPAP	Mean peak air pressure	cmH ₂ O
	PEF	Peak expiratory airflow	Liters/sec
	TARF	Target airflow	Liters/sec
	FVC	Expiratory volume	Liters
	MEPHO	Mean airflow during voicing	Liters/sec
	APOW	Aerodynamic power	watts
	ARES	Aerodynamic resistance	cmH ₂ O(Liters/sec)
	AOHM	Acoustic Ohms	dyne sec/cm ⁵
	AEFF	Aerodynamic efficiency	p.p.m.(parts of million)
Maximum Sustained Phonation(MXPH)			
	MAXDB	Maximum sound pressure level	dB
	MINDB	Minimum sound pressure level	dB
	MEADB	Mean sound pressure level	dB
	RANDB	Sound pressure level range	dB
	PHODB	Mean sound pressure level during voicing	dB
	MEAP	Mean pitch	Hz
	PHOT	Phonation time	sec
	PEF	Peak expiratory airflow	Liters/sec
	MEAF	Mean expiratory airflow	Liters/sec
	FVC	Expiratory volume	Liters
Vital Capacity(VTCP)			
	FET100	Expiratory airflow duration	sec
	PEF	Peak expiratory airflow	Liters/sec
	FVC	Expiratory volume	Liters

<부록 2> MDVP 34개 변수의 8개 항목 분류

Category	Parameters(Abb.)	Parameters(Full name)	Unit	Threshold*
Fundamental Frequency Parameters				
	F0	Average fundamental frequency	Hz	-
	MF0	Mean fundamental frequency	ms	-
	T0	Average pitch period	Hz	-
	Fhi	Highest fundamental frequency	Hz	-
	Flo	Lowest fundamental frequency	Hz	-
	STD	Standard deviation of F0	Hz	-
	PFR	Phonatory F0-range in semi-tones	-	-
	Tsam	Length of analyzed sample	sec	-
	SEG	Number of segments computed	-	-
	PER	Total number detected pitch periods	-	-
Frequency Perturbation Parameters				
	Jita	Absolute jitter	us	83.200
	Jitt	Jitter percent	%	1.040
	RAP	Relative average perturbation	%	0.680
	PPQ	Pitch perturbation quotient	%	0.840
	sPPQ	Smoothed pitch perturbation quotient	%	1.020
	vF0	Fundamental frequency variation	%	1.100
Amplitude Perturbation Parameters				
	ShdB	Shimmer in dB	dB	0.350
	Shim	Shimmer percent	%	3.810
	APQ	Amplitude perturbation quotient	%	3.070
	sAPQ	Smoothed amplitude perturbation	%	4.230
	vAm	Peak-to-peak amplitude variation	%	8.200
Tremor Parameters				
	Fftr	F0-tremor frequency	Hz	-
	Fatr	Amplitude tremor frequency	Hz	-
	FTRI	F0-tremor intensity index	%	0.950
	ATRI	Amplitude tremor intensity index	%	4.370
Voice Irregularity Parameters				
	DUV	Degree of voiceless	%	1.000
	NUV	Number of unvoiced segments	-	0.900
Voice Break Related Parameters				
	DVB	Degree of voice breaks	%	1.000
	NVB	Number of voice breaks	-	0.900
Sub-Harmonics Analysis Parameters				
	DSH	Degree of sub-harmonics	%	1.000
	NSH	Number of sub-harmonics segments	-	0.900
Noise Parameters				
	NHR	Noise to harmonic ratio	-	0.190
	VTI	Voice turbulence index	-	0.061
	SPI	Soft phonation index	-	-

*역치는 MDVP software instruction manual(2005)에서 인용함