

발성역치능력(Phonation Threshold Power, PTW)의 타당도 및 임상적 유용성 연구: 예비연구

A Study on the Validation of Phonation Threshold Power and the Clinical Usefulness of PTW: A Preliminary Study

황 영 진¹⁾ · 이 인 애²⁾

Hwang, Youngjin · Lee, Inae

ABSTRACT

This study attempted to investigate the validation of Phonation Threshold Power of Patients who have Functional voice disorder. 50 subjects participated in the study (32 subjects were patients who had functional voice disorders and 20 subjects were normal adults). The PAS (Phonatory aerodynamic system, model 6600, KAY electronics, Inc.) was used to measure the data and to do the analysis. Data from the Phonation Threshold Power was measured multiplying Phonation Threshold Pressure and Phonation Threshold Airflow. Phonation Threshold Pressure and Phonation Threshold Airflow were measured by the PAS protocol. Those were used because of the ease of phonation. The results of this study showed that the differences in Phonation Threshold Power between patients who had functional voice disorder and normal adults could become a significant index. Patients who had functional voice disorder showed more higher figures than normal adults. The results of study showed that Phonation threshold Power is more sensitive than Phonation Threshold Pressure and Phonation Threshold Airflow. The measured data also provided useful information for diagnosing patients with vocal fold.

Keywords: Functional voice disorder, Phonation Threshold Power, ROC Curve

1. 서론

1.1 연구의 필요성

호흡은 발성에 필요한 에너지를 지원해주는 매우 중요한 역할을 한다. 따라서 호흡을 통해서 발성상태를 확인할 수 있으며, 성대의 상태도 예측할 수 있다(황영진 등, 2007; 이인애 등, 2012). 이러한 호흡을 통한 발성의 특성을 살펴보기 위해 다양한 측정법을 이용할 수 있는데, 그 중 하나가 바로 발성역치(Phonation Threshold) 관련 파라미터들이다. 발성역치는 쉬운발성을 이용하여 측정하는 것을 말하는데, 이 때 쉬운발성이라 함은 최소한의 성문하압으로 그리고 최소한의 기류량

을 가지고 성대에 힘을 들이지 않고 하는 자연스러운 발성을 의미한다(Titze., 1989). 이러한 발성역치를 이용한 파라미터에는 발성역치압력(Phonation Threshold Pressure, 이하 PTP), 발성역치기류(Phonation Threshold Airflow, 이하 PTF), 발성역치능력(Phonation Threshold Power, 이하 PTW) 등이 있다. 이와 같은 발성역치관련 파라미터를 이용하면 성대에 병리적인 문제를 가진 환자나 성대에 힘을 주어 발성하는 비정상적인 생체역학적 특징이 나타나는 환자들을 감별할 수 있다(Zhuang et al, 2009). 따라서 발성에 필요한 공기역학적인 메커니즘을 통해 성대의 병리적인 특성을 확인하기 위해서는 주로 공기역학적 검사를 사용한다(Regner et al., 2010).

PTP와 PTF는 쉬운발성을 이용하여 성대진동시작과 소리를 산출하기 위한 최소한의 성문하압과 최소한의 기류량을 각각 의미하는 반면(Titze et al., 1989; Titze et al., 1992; Jiang et al., 2007), PTW는 PTP와 PTF의 곱으로 산출되기 때문에 병리적 음성에 대해 더욱더 민감하게 반영하는 특성을 가지고 있다(Zhuang et al, 2013). 왜냐하면 PTW는 성대가 진동하여 발

1) 루터대학교, yjhwang@ltu.ac.kr

2) 충남대학교, inaevoice@hanmail.net, 교신저자

접수일자: 2014년 4월 1일

수정일자: 2014년 4월 29일

게재결정: 2014년 6월 10일

성이 시작할 때 나타나는 압력과 기류량을 동시에 제시하므로 두 파라미터의 특성을 모두 나타내기 때문이다.

PTW의 공식을 살펴보면 다음과 같다.

$$PTP \times PTF = \left(\frac{K_t}{T}\right) Bc\xi_0 \times 4L \sqrt{\frac{8x_0^3 Bc}{2Tp}}$$

PTW의 공식은 PTP와 PTF의 곱으로 이루어지는데 먼저 PTP와 PTF의 공식과 그의 특성을 알아보는 것이 필요하다. PTP의 특징은 다음과 같은 공식으로 설명할 수 있다(Titze, 1988).

$$PTP = \left(\frac{K_t}{T}\right) Bc\xi_0$$

여기서 K_t 는 성문을 지나는 압력 비율(transglottal pressure coefficient)이며, T 는 수직의 성대의 두께(vertical vocal-fold thickness), B 는 성대조직의 점성 습기비율(viscous damping coefficient of vocal fold tissues)을 뜻하고, c 는 점막 파형의 전달 속도(mucosal wave propagation velocity), ξ_0 는 발성 전 성문의 절반 폭(prephonatory glottal half-width)을 의미한다.

또한 PTF도 다음과 같이 정의할 수 있다(Jiang et al., 2007).

$$PTF = 4L \sqrt{\frac{8x_0^3 Bc}{2Tp}}$$

PTF의 지수 중 L 은 성대 길이(vocal fold length)를, B 는 성대조직의 점성(tissues viscosity)을, c 는 점막 파형의 속도(mucosal wave velocity)를, x_0^3 는 발성 전 성문 절반 폭(prephonatory glottal half-width)을, T 는 성대의 두께(vocal-fold thickness)를, p 는 성문 공기흐름의 밀도(air density)를 의미한다.

위의 PTP와 PTF의 공식을 통해 PTW의 특성을 정리하여 보면 다음과 같이 설명할 수 있다. PTW는 성대의 두께, 성문 공기흐름의 밀도가 두꺼울수록 감소하며, 성대조직의 점성이나 점막파형 속도가 높으며 성문 폭이 넓을수록 성대의 길이가 길수록 증가한다(Titze, 1988, Chan et al., 1997, Jiang et al., 2007).

위의 같은 PTP와 PTF의 공식을 증명하기 위한 실험으로는 개의 성대를 이용한 방법을 사용하였는데, 성대의 틈과 성대 길이의 증가, 성대표면의 건조함에 따라 민감하게 반응하였으며(Regner et al., 2010), 사람에게도 실험을 적용하였을 때 후두의 병리적인 특성에 따라 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(Zhuang et al, 2009).

사람에게 PTP와 PTF를 적용시킬 때에는 공기역학적인 도

구를 이용하여 측정할 수 있는데, Choi et al(2010)의 연구에서는 공기역학적인 도구인 PAS(Phonatory aerodynamic system)를 이용하여 PTP와 PTF를 측정하였다. 내전형 연축성 발성장애 환자와 정상양성에 차이를 보였으며, 이 두 파라미터가 진단 파라미터로 유용하다고 하였다. Zhuang et al(2009)에서도 PAS를 이용하여, 성대결절과 성대폴립 환자의 PTF를 측정하였는데 정상과 차이를 보였으며 PTF 파라미터가 진단에 매우 민감하다고 하였다.

이 두 파라미터를 모두 반영하는 PTW는 성대의 병변 여부를 알려주기 때문에 음성장애의 선별 파라미터로서의 역할을 담당할 수 있다. 또한 이 파라미터가 PTP나 PTF의 특성을 둘 다 확인할 수 있기 때문에 공기의 흐름과 압력을 동시에 확인할 수 있어 매우 유용하게 사용할 수 있다(Regner et al., 2010). 이렇듯 PTW는 성대 병리적 상태를 민감하게 나타내며 성대의 다양한 특징을 반영한다.

이러한 PTW에 관한 평가나 연구는 매우 드물다. 국외에서도 PTW에 관한 연구는 이제 시작되어지고 있다. 왜냐하면 국외에서 이러한 발성역치를 이용한 측정방법을 연구하게 된 것도 그리 오래되지 않았으며, 국내에서도 이러한 공기역학적인 평가방법이 아직 활발하게 이루어지지 않았기 때문이다.

Zhuang(2013) 등에 의하면 성대의 양성질환이 있을 경우와 성대마비 등으로 인해 발생가능한 성대운동특성 등을 살펴보는 데도 유용하다고 제시하고 있기 때문에, PTW는 진단도구로서의 역할을 담당할 수 있으며 PTP와 PTF보다도 더 유용한 진단평가 자료로서의 기능을 담당할 수 있으리라 사료된다.

따라서 본 연구에서는 공기역학적인 도구를 이용하여 PTW의 특성을 연구하고 또한 그것이 기능적 음성장애의 유무에 따라 어떤 영향을 미치는지 확인하여 보고자 한다. 구체적인 연구문제는 다음과 같다.

첫째, 음성장애 유무에 따라 PTW는 차이가 있는가?

둘째, PTW는 PTP와 PTF와 비교하여 민감도에는 어떠한 차이를 보이는가?

2. 연구 방법

2.1 연구대상

본 연구는 기능적 음성장애인과 정상성인을 대상으로 하였으며 모두 20세 이상의 남녀성인이었다. 대상자 모두 시력이나 청력, 인지적 결함, 신체적 장애 등을 동반하지 않았으며 본 실험을 이해하여 참여가 가능한 자들로 선정하였다.

1) 기능적 음성장애인

기능적 음성장애인은 음성문제를 주소로, 이비인후과 전문의에 의해 후두스트로보스코피를 시행하고 음성언어치료사에 의해 음성정밀검사를 실시한 결과, 기능적 음성장애로 진단받

은 32명(남 11, 여 21)을 대상으로 하였다. 또한 기능적 음성장애인을 진단명에 따라 분류하였으며, 성대폴립 19명(남 11, 여 8), 성대결절 13명(여 13)으로 하였다.

2) 정상성인

정상성인은 모두 음성질환이 없거나 감기에 걸리지 않은 자로 선정하였다. 정상성인은 20대 이상의 남녀 성인으로 총 50명(남 20, 여 30)을 대상으로 하였다. 기능적 음성장애인과 정상대조군의 연령 및 성별에 대한 정보는 <표 1>과 같다.

표 1. 대상자 정보
Table 1. Information of subjects

집단		성별	대상자 수(명)	평균연령(세)
음성장애군	성대결절	여	13	28.27±10.41
	성대폴립	남	11	28.44±9.65
		여	8	29.88±6.13
정상성인군		남	20	23.70±3.29
		여	30	22.50±2.06
합계			82	25.06±6.30

2.2 연구도구 및 절차

본 실험은 PAS(Phonatory aerodynamic system, model 6600, KayPENTAX electronics, Inc)를 사용하여 PTP와 PTF를 측정 한 뒤 PTP와 PTF의 곱으로 PTW를 산출하였다.

1) PTP 측정

본 연구에서는 Choi et al(2010)의 측정방법을 기준으로 하여 PAS를 이용하여 측정하였으며, PAS 프로토콜 중 Voicing Efficiency를 이용하였다. 녹음 시에는 마스크를 착용한 뒤 빨대를 입에 3cm 정도 넣어 /papapapapa/를 산출하도록 하였다. 이 때 /papapapapa/를 피험자가 평상시에 사용하는 강도로 산출하게 한 다음 점차적으로 강도를 감소시켜 성대를 진동할 수 있는 최소한 발성을 유도하였다. PTP 측정을 위해서는 Voicing Efficiency의 파라미터 중 Mean peak air pressure (cmH₂O)의 값을 활용하였다. Mean peak air pressure(cmH₂O)의 값을 사용한 이유로는 위 값은 PAS에서 성문하압을 확인할 때 이용하며, 따라서 쉬운발성을 이용하여 성문하압을 측정하는 PTP를 측정할 수 있기 때문이다. PTP를 측정된 뒤 제시된 값은 공식에서 제시한 5가지 변수 Kt, T, B, c, ξ₀를 포함하고 있으며, 이 값을 통하여 변수가 설명하는 성대의 상태를 예측할 수 있다. 녹음한 음성 중 3개를 평균하여 PTP 값을 산출하였다.

2) PTF 측정

본 연구에서는 Choi et al(2010), Zhuang et al(2009)의 측정방법을 기준으로 하여 PAS를 이용하여 측정하였으며, PAS 프로토콜 중 Maximum Sustained Phonation을 이용하였다. PTP와 마찬가지로 마스크를 착용한 뒤 빨대를 입에 3cm 정도 넣도록 하였으며, 3초에서 5초 정도 발성한 뒤 다시 5초 정도 쉬는 방식으로 총 10번을 발성하였다. 성대를 진동시킬 수 있는 최소한 발성을 이용하여 낼 수 있는 작은 강도의 음성을 산출하도록 지시하였으며, 매우 부드럽게 시작하여 점차 감소시키는 방법으로 /a/를 발성하도록 하였다. Maximum Sustained Phonation의 다양한 파라미터 중 Mean expiratory airflow(L/s)의 값을 활용하여 분석하였다. Mean expiratory airflow(L/s)의 값을 사용한 이유는 위 값은 PAS에서 기류량을 확인할 때 이용하며, 따라서 쉬운발성을 이용하여 기류량 측정하는 PTF를 측정할 수 있기 때문이다. PTF를 측정된 뒤 제시된 값은 공식에서 제시한 6가지 변수 L, B, c, x³, T, p를 포함하고 있으며, 이 값을 통하여 변수가 설명하는 성대의 상태를 예측할 수 있다. 녹음한 PTF의 값은 발성이 멈추는 시점을 기준으로 측정하였는데, Zhuang et al(2009)에서 제시한 발성의 중지 시점인 50dB기준으로 하였고, 분석범위 중 총 10개의 값을 평균하여 비교하였다.

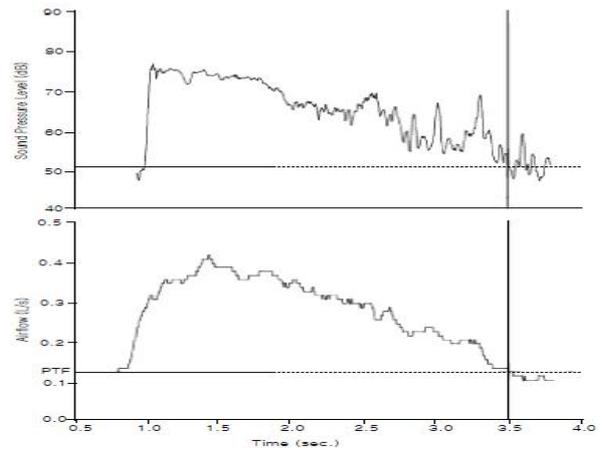


그림 1. PTF 측정 기준 (Zhuang et al, 2009)

Figure 1. Standard measurement of PTF (Zhuang et al, 2009)

3) PTW 측정

본 연구에서는 Zhuang et al(2013)에서 제시한 식을 이용하여 PTW를 산출하였는데, 그 식은 다음과 같다.

$$PTP \times PTF = PTW$$

2.3 결과처리

분석결과는 SPSS(Statistics package for social science, version 18.0, USA) 프로그램을 이용하여 통계적으로 처리하였다. 성별과 기능적 음성장애 유무에 따른 PTW의 차이는 이원배치 분산분석(two-way ANOVA)을 사용하여 분석하였다. 또한 PTP와 PTF, PTW의 민감도 차이 비교를 위해 ROC 분석을 이용하였다.

3. 연구 결과

3.1 기능적 음성장애 유무에 따른 PTW 차이 비교

정상성인과 기능적 음성장애인을 대상으로 PTP의 차이를 비교하기 위하여 기술통계를 실시한 결과는 <표 2>와 같다. 기능적 음성장애인의 경우 1.93±1.22(cmH2O*L/mim)의 수치를 나타냈으며 정상성인의 수치인 0.31±0.30(cmH2O*L/mim)보다 높게 나타났다.

두 집단의 수치가 성별 또는 기능적 음성장애 유무에 따라서 유의한 차이를 나타내는지 알아보기 위해 이원배치 분산분석을 실시한 결과는 <표 3>과 같다. 분산분석 결과, 두 집단은 성별에 따라 유의한 차이를 나타내었으며(F(1, 162)=10.863, p<.01) 기능적 음성장애 유무에 따라서 유의한 차이를 나타내었다(F(1, 162)=98.556, p<.001). 또한 기능적 음성장애 유무에 따른 상호작용 효과도 유의한 차이를 나타내었다(F(1, 162)=4.444, p<.05). 성별과 장애유무의 상호작용 효과는 <그림 2>와 같다

표 2. 기능적 음성장애 유무에 따른 PTW의 기술통계량
Table 2. Measuring of PTP according to existence of voice disorder

		Mean±SD(cmH2O*L/mim)	
		정상성인	기능적 음성장애인
PTW	남	0.43±0.36	2.56±1.47
	여	0.22±0.22	1.60±0.95
	합계	0.31±0.30	1.93±1.22

표 3. 기능적 음성장애 유무와 성별에 따른 PTW의 이원배치 분산분석 결과

Table 3. Results of two-way ANOVA on PTW according to voice disorder and sex

	SS	df	MS	F
성별	6.122	1	6.122	10.863**
장애유무	55.540	1	55.540	98.556***
성별×장애유무	2.505	1	2.505	4.444*
오차	43.956	78	0.564	

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

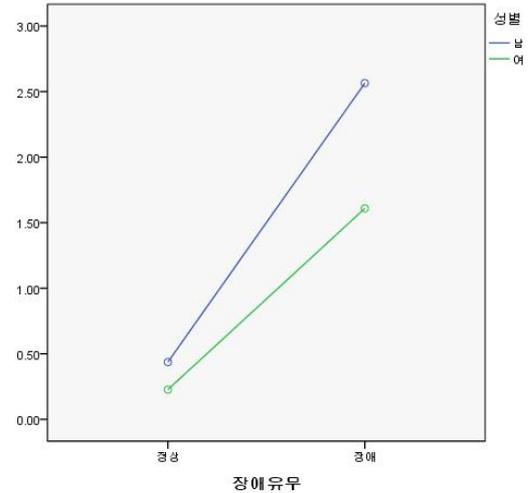


그림 2. 기능적 음성장애유무와 성별의 상호작용 효과
Figure2. Interaction Effect of voice disorder and sex

3.2 ROC 분석을 이용한 PTP와 PTF, PTW의 민감도 차이 비교

정상성인과 기능적 음성장애인을 대상으로 기준하여, PTW와 PTP와 PTF의 민감도 차이를 비교하기 위하여 ROC분석을 실시하였고 그 결과는 <그림 3>와 <표 4>에 제시하였다. ROC 커브 아래의 면적(AUC 값)은 PTW는 .961, PTF는 .916, PTP는 .895이었다. PTP는 .895로 0.7-0.9 사이에 포함되므로 중증도의 정확함으로 나타났으며, PTF와 PTW는 각각 .916, .961로 0.9-1 사이에 포함되므로 매우 정확함으로 나타났다. 3개의 파라미터 중에서는 PTW가 가장 높은 면적 값을 나타내었다.

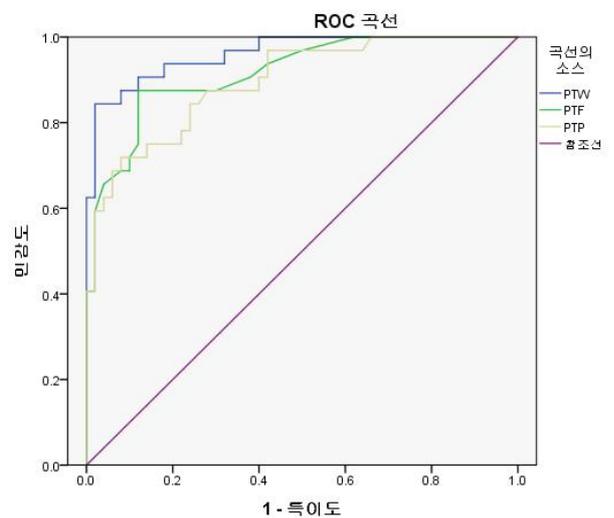


그림 3. PTP, PTF와 PTW의 ROC 커브
Figure3. The ROC curve of PTP, PTF and PTW

표 4. PTP, PTF와 PTW의 ROC 분석
Table 4. ROC analysis of PTP, PTF and PTW

변수	AUC [†]	SD	Asymproric P	Asymproric 95% CI	
				Lower Bound	Upper Bound
PTW	0.961	0.019	0.000	0.924	0.999
PTP	0.895	0.035	0.000	0.826	0.977
PTF	0.916	0.031	0.000	0.855	0.977

† ROC 곡선 아래 면적(Area under the ROC curve)

4. 논의 및 결론

본 연구에서는 PTW의 타당도 및 진단도구로서의 유용성을 확인하고자 하였다. PTW를 통해 기능적 음성장애의 유무에 의한 차이와 성별에 의한 차이를 확인할 수 있었으며, PTW의 진단도구로서의 유용성을 확인하였다. 또한 PTW는 PTP와 PTF보다 더욱더 민감한 파라미터임을 확인할 수 있었다.

첫째, 정상성인과 기능적 음성장애인 간의 PTW의 비교를 살펴보면, PTW는 기능적 음성장애 유무에 따라 유의한 차이가 나타났다. 기능적 음성장애인의 경우 1.93 ± 1.22 (cmH₂O*L/mim)의 수치를 나타냈으며 정상성인의 수치인 0.31 ± 0.30 (cmH₂O* L/mim)보다 매우 높게 나타났다.

PTW의 경우 PTP와 PTF의 곱으로 이루어진 것으로 Zhuang et al(2013)에 따르면 정상인의 경우 0.38 ± 0.20 (cmH₂O* L/mim)를 나타내었으며, 기능적 음성장애인의 경우, 1.28 ± 0.68 (cmH₂O* L/mim)를 나타내었다. 이는 본 연구의 결과와 맥락을 같이 한다고 볼 수 있으며, 정상과 기능적 음성장애를 구분하여 비교하였을 때 유의함을 뒷받침하여 준다.

또한 PTW는 성별에 따라 유의한 차이가 나타났다. 이인애(2013)에 따르면 PTP는 성별에 따라 유의한 차이가 나타나지 않지만, PTF는 성별에 따라 유의한 차이를 나타낸다고 하였다. 이는 PTF의 지수 중 L이 성대 길이(the vocal fold length)를 반영하고 있기 때문이다. PTW는 PTP와 PTF의 특성을 모두 반영하므로 성별에 대해서도 민감하게 반응하는 결과를 나타내었다.

둘째로는 ROC 분석을 이용하여 PTP, PTF와 PTW의 민감도를 비교하였다. 정상성인과 기능적 음성장애인을 기준으로 비교하였는데 PTP는 중증도의 정확함, PTF와 PTW는 각각 매우 정확함으로 나타났으며 이것은 발성역치를 이용한 방법이 음성장애를 감별하는데 유용함을 확인할 수 있었다. 또한 PTW가 가장 넓은 면적을 나타내었으며, 이는 민감한 파라미터임을 확인할 수 있었다.

PTP의 경우 성대가 발성을 시작할 때 나타나는 압력을 통해 성대의 두께, 성문 공기흐름의 밀도, 성대조직의 점성, 점

막과형 속도, 성문 폭 등 5개 가지의 특징을 반영하며, PTF의 경우 성대가 발성을 시작할 때 나타나는 기류를 통해 성대의 길이까지 포함하여 6가지 항목을 반영한다. PTW의 경우도 6개의 항목을 반영하지만 두 항목 압력과 기류의 특성들을 모두 반영하여 성대가 음성 산출할 시 활용하는 효율적 측면을 확인할 수 있다. PTP가 높고 PTF가 높다면 발성을 시작할 때에 성대의 폐쇄정도에 사용되는 공기의 양이 많고 정상 기준에 비해 상대적으로 비효율적으로 음성을 사용하고 있다고 예측할 수 있다. 이러한 효율성을 나타내어주는 수치인 PTW는 기능적 음성장애인의 음성특징을 보다 더 세밀하게 제시하는 파라미터로서의 역할을 할 수 있다고 본다.

Zhuang et al(2013)의 연구에서도 PTW가 PTP나 PTF보다 더 높은 민감도를 나타내었으며, PTW가 기능적 음성장애를 진단하는데 더 민감하다고 제시하였다. 이는 본 연구와 같은 맥락을 나타내었다고 하겠다.

성대의 병리성을 판단하는데 있어서 발성역치를 이용한 방법은 매우 민감함을 나타내지만(Zhuang et al., 2009; 이인애, 2013) PTP와 PTF를 모두 반영한 PTW가 그러한 특징을 더 잘 나타냄을 확인할 수 있었으며, 또한 임상적으로도 PTW를 사용한다면 기능적 음성장애를 진단하고 그러한 특징을 예측하는데 매우 유용할 것이라 사료된다.

본 연구에서는 음성장애인의 경우 성대폴립과 성대결절 환자만을 대상으로 하여 다양한 음성장애군의 PTW의 특징을 살펴보는지는 못하였다. 후속연구에서는 음성장애를 다양하게 제시하여 PTW가 어떻게 반영되는지 확인하기를 제안한다. 또한 성대폴립과 성대결절 등의 기능적 음성장애인의 중증도에 따른 PTW도 확인하여 볼 필요성이 있겠다.

그리고 PTW라는 파라미터가 다양한 음성 상태에 따라서 어떻게 영향을 미치는지 살펴볼 때 매우 도움이 될 수 있다. 따라서 다양한 대상 및 음성상태, 환경, 신체적 변화들을 고려한 연구도 실행하여 볼 것을 제안한다.

참고문헌

Hwang, Y. J., Yu, J. Y., Jeong, O. R. (2007). *Voice and Voice Therapy, Seoul: Sigmappress.*
(황영진, 유재연, 정옥란 (2007). *음성과 음성치료*. 서울: 시그마프레스.)

Lee, I. A., Lee, H. E., & Hwang, Y. J. (2012). A study of breath competence depending on utterance condition by healthy speakers: a preliminary study. *Phonetics and Speech Sciences*, Vol. 4, No. 2, 115-120.
(이인애, 이혜은, 황영진 (2012). 발화조건에 따른 정상 성인의 호흡 능력 차이 비교 : 예비연구. *말소리와 음성과학* 4권 2호, 115-120.)

- Titze, I. R. (1989). On the relation between subglottal pressure and fundamental frequency in phonation. *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 85, No. 2, 901-906.
- Zhuang, P., Sprecher, A. J., Hoffman, M. R., Zhang, Y., Fourakis, M., Jiang, J. J., & Wei, C. S. (2009). Phonation threshold flow measurements in normal and pathological phonation. *Laryngoscope*, Vol. 119, No. 4, 811-815.
- Regner, M. F., Jiang, J. J. (2010). Phonation Threshold Power in Ex Vivo Laryngeal Model. *Journal of Voice*, Vol. 25, No. 5, 519-525.
- Titze, I. R. (1992). Phonation threshold pressure: A missing link in glottal aerodynamics. *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 91, No. 5, 2926-2935.
- Titze, I. R. (1992). Vocal efficiency. *Journal of Voice*, Vol. 6, No. 2, 135-138.
- Jiang, J. J., & Chao Tao. (2007). The minimum glottal airflow to initiate vocal fold oscillation. *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 121, No. 5, 2873-2881.
- Zhuang, P., Swinaraka, J. T., Robieux, C. F., Hoffman, M. R., Lin, S., Jiang, J. J. (2013). Measurement of Phonation Threshold Power in Normal and Disordered Voice Production. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*. Vol. 122, No. 9, 555-560.
- Choi S. H., Jiang, J. J., Y, B. R., Lee, J. Y., Lim, S. E., Choi, H. S. (2010). Phonation threshold flow and phonation threshold pressure in patients with adductor spasmodic dysphonia. *Phonetics and Speech Sciences*, Vol. 2, No. 3, 157-164.
- Titze, I. R. (1988). The physics of small-amplitude oscillation of the vocal folds. *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 83, No. 4, 1536-1552.
- Chan, R. W., Titze, I. R., & Titze, M. R. (1997). Further studies of phonation threshold pressure in a physical model of the vocal mucosa. *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 101, No. 6, 3722-3727.
- Zhuang, P., Sprecher, A. J., Hoffman, M. R., Zhang, Y., Fourakis, M., Jiang, J. J., & Wei, C. S. (2009). Phonation threshold flow measurements in normal and pathological phonation. *Laryngoscope*, Vol. 119, No. 4, 811-815.
- Lee, I. A. (2013). A Study on the Characteristics of Phonation Threshold Pressure and Phonation Threshold Airflow of Patients who have Functional Voice Disorder. MA thesis, Luther University.
- (이인애 (2013). 기능적 음성장애인의 발성역치압력과 발성역치기류 특성 연구. 루터대학교 루터대학원 석사학위 논문.)

• **황영진 (Hwang, Youngjin)**

루터대학교 언어치료학과 교수
용인시 기흥구 상갈동 17번지
Tel: 031-679-2351
Email: yjhwang@ltu.ac.kr
관심분야: 음성장애, 신경언어장애

• **이인애 (Lee, Inae)**

충남대학교 대학원 언어병리학과 박사과정
대전광역시 유성구 공동 220
Tel: 031) 966-9912
Email: inaevoice@hanmail.net
관심분야: 음성장애