



pISSN 2005-8063  
eISSN 2586-5854  
2023. 6. 30.  
Vol.15 No.2  
pp. 31-40

# 말소리와 음성과학

Phonetics and Speech Sciences

한국음성학회지

<https://doi.org/10.13064/KSSS.2023.15.2.031>



## Tube phonation in water for patients with hyperfunctional voice disorders: The effect of tube diameter and water immersion depth on bubble height and maximum phonation time\*

Min Gyeong Kim<sup>1,2</sup> · Seong Hee Choi<sup>1,3,\*\*</sup> · Jong-In Youn<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Graduate Program in Audiology & Speech-Language Pathology, Daegu Catholic University, Gyeongsan, Korea

<sup>2</sup>Beautiful Voice Clinic, Seoul, Korea

<sup>3</sup>Department of Audiology & Speech-Language Pathology, Institute of Biomimetic Sensory Control,  
and Catholic Hearing Voice Speech Center, Gyeongsan, Korea

<sup>4</sup>Department of Biomedical Engineering, Daegu Catholic University, Gyeongsan, Korea

### Abstract

Tube phonation in water has been widely used for voice training among semi-occluded vocal tract (SOVT) exercises in which the patient bubbles with phonation keeping the tube submerged in water. This study aims to investigate the effect of tube diameter and water depth on bubble height and maximum phonation time (MPT) for patients with hyperfunctional voice disorders. Seventeen patients with hyperfunctional voice disorders were asked to bubble with sustained /u/ at the different inner diameters of tube (5, 7, and 10 mm), water depth (4, 7, and 10 cm). A water resistance phonation biofeedback system using a water height sensor was used for recording bubble height and MPT. The bubble height was significantly changed by the tube diameter while MPT was significantly changed with the tube diameter and water depth. Although the wider tube presented significantly lower bubble height for a given depth, relatively consistent bubble height was maintained. Depending on the water depth, the bubble height did not significantly differ for a given tube diameter. In addition, MPT significantly decreased with water depth and a wider tube led significantly shorter MPT. A water level-driven water resistance biofeedback system provided useful information on bubble characteristics and vocal fold vibration depending on tube diameter and water depth. It can be useful to monitor the breath support during water resistance phonation for patients with hyperfunctional voice disorders.

**Keywords:** tube phonation in water, hyperfunctional voice disorders, tube diameter, bubble height, maximum phonation time (MPT), sensor-based biofeedback system

\* This study was supported by the Ministry of Education of Research Foundation of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-2020S1A5A2a0145868).

\*\* shgrace67@gmail.com, Corresponding author

Received 1 June 2023; Revised 27 June 2023; Accepted 27 June 2023

© Copyright 2023 Korean Society of Speech Sciences. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

기능적 음성장애란 구조적이나 신경학적인 후두 병리학적 특징이 없는 음성장애를 뜻하며(Koufman & Blalock, 1991; Ramig & Verdolini, 1998), 특히, 과기능적 음성장애 환자는 일반적으로 후두 근육의 긴장과 관련이 있는 성문 상부의 과도한 수축과 높은 후두 위치의 특징을 보인다(Lowell et al., 2012). 또한, 쉼 목소리, 발성 피로, 발성 노력과 같은 증상도 보이며(Roy et al., 2004), 음성 오남용으로 인해 발생할 수 있으므로 과기능적 발성 습관 제거와 후두의 긴장도를 줄이는 것이 음성치료의 주요 목표 중 하나이다(Andrade et al., 2014). 여러 가지 음성촉진 기법 중 반폐쇄성대운동(semi-occluded vocal tract exercise, SOVTE)은 음성 생성과 관련된 호흡, 발성 및 공명 간의 균형과 후두근의 긴장을 개선함으로써 성대 진동과 접촉의 충격이 감소하며 성대 손상을 최소화할 수 있다(Titze, 2009). 입술 트릴이나 혀트릴은 성대와 입술 혹은 혀의 이중 진동원을 가지며, 이로 인하여 구강내압의 저주파수대 진동이 발생한다. 아울러, 구강을 폐쇄함으로써 성문 상압이 증가하여 부드러운 성대접촉을 통한 발성과 근육이완에 도움을 주어 가수, 성악인 등 보컬 워밍으로서 오래전부터 사용되어 온 SOVTE의 방법이다(An et al., 2022, Lee et al., 2017; Maxfield et al., 2015). 최근에는 입술트릴과 마찬가지로 이중 진동원을 가지는 튜브, 빨대를 사용하여 물에서 거품이 나면서 발생할 수 있도록 구강 압력을 높이는 Lax Vox를 많이 사용하고 있다(Titze, 2009). 반폐쇄성대운동에 해당하는 훈련을 실행한 연구 결과, SOVTE 중 물저항 발성법인 Lax Vox 수행 시 가장 큰 음성 개선 효과가 있다고 보고되었다(Calvache et al., 2020).

SOVTE 중 하나인 Lax Vox 음성치료는 실리콘 튜브를 물 안에 넣고 발성하는 기법이다. 성도의 일부분을 잠기는 것으로, 성도의 앞이나 뒷부분의 반폐쇄가 구강압을 증가시켜 성문 상부의 압력과 하부의 압력 차이를 감소시킨다(Berry et al., 2001). 즉, 발성에 필요한 노력을 줄여서 음성 효율성을 개선할 수 있으며(Titze & Palaparthi, 2016), 발생하는 물거품을 통해 호흡이 얼마나 지지되고 있는지 알 수 있다(Granqvist et al., 2015). Lax Vox는 성악가에게 실시하였을 때, 기본주파수 증가와 주관적 평가에서 긍정적인 효과가 있다고 보고되었고(Fadel et al., 2016), 후두의 위치가 하강되고 인두가 넓어진다고 보고되었다(Guzman et al., 2013). 특히, 기식음이나 거친 음질 등을 보이는 성대결절 환자들은 이러한 음질들을 줄이기 위해 후두근의 과도한 긴장과 성문하압을 증가시켜 성대를 더 강하게 접촉하게 하는데(Hillman et al., 1990), 구강의 반폐쇄로 인해 증가된 구강압은 성대를 약간 외전된 상태로 만들어 접촉을 최소화함으로써 과기능적 음성장애 환자의 과도한 성대 접촉을 감소시키는 데 도움을 줄 수 있다.

SOVTE는 과소기능과 과기능 환자 모두에게 사용할 수 있으며 튜브의 깊이에 따라 성대에 미치는 물의 저항이 달라진다고 보고되었다(Simberg & Laine, 2007). 이와 더불어, 선행연구의 보고에 따르면, 튜브의 길이보다는 직경이 구강압 증가에 더 많

은 영향을 미치는 것으로 알려졌다(Andrade et al., 2016; Guzmán et al., 2016; Titze et al., 2022). 최근 국외에서는 튜브의 너비나 깊이에 따라 발성에 미치는 영향을 알아보는 연구들이 보고되고 있지만(Andrade et al., 2016; Choi et al., 2021; Guzman et al., 2017; Simberg & Laine, 2007; Titze et al., 2022), 모두 정상 성인을 대상으로 한 연구로 음성장애 환자에게 적용한 것은 아니었다. 본 연구는 과기능적 음성장애 환자들을 대상으로 새로이 개발된 수위 센서를 이용한 바이오피드백 시스템인 음성치료용 물컵 장치를 이용하여 튜브의 직경과 깊이에 따라 수위 변화와 최대발성지속시간에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 연구 대상

본 연구의 대상자는 서울특별시에서 위치한 이비인후과에 내원하여 전문의로부터 성별에 상관없이 과기능적 음성장애를 진단받은 환자 총 17명을 대상으로 하였으며, 근긴장성발성장애 7명(남 3명, 여 4명), 내전형 연축성 발성장애 3명(남 1명, 여 2명), 성대결절 7명(남 0명, 여 7명)이었다. 대상자의 연령범위는 만 21세-64세로 평균 연령은 35.7( $\pm 25.3$ )세였고 남성이 4명, 여성 13명이었다. 대상자별 인구학적 정보는 표 1과 같다.

표 1. 과기능 음성장애 환자에 대한 인구학적 정보  
Table 1. Demographic information of patients with hyperfunctional voice disorders

pt	Age	Sex	음성장애 유형
1	33	M	MTD
2	32	M	MTD
3	23	F	MTD
4	35	F	MTD
5	48	F	MTD
6	25	F	MTD
7	21	M	MTD
8	64	F	ADSD
9	42	F	ADSD
10	31	M	ADSD
11	33	F	Vocal nodules
12	37	F	Vocal nodules
13	38	F	Vocal nodules
14	28	F	Vocal nodules
15	48	F	Vocal nodules
16	25	F	Vocal nodules
17	44	F	Vocal nodules

MTD, muscle tension dysphonia; ADSD, adductor spasmodic dysphonia.

### 2.2. 연구방법

#### 2.2.1. 연구 도구

본 연구에서는 수위 센서를 이용하여 대구가톨릭대학교 의공학과와 언어청각치료학과가 개발한 바이오피드백 시스템인 음성치료용 물컵 장치를 사용하였다(그림 1).

사용된 물통의 크기는 75×233 mm였다. 실리콘 튜브는 길이

는 35 mm로 모두 같았고 직경에 따라(5, 7, 10 mm) 세 가지를 사용하였다. 물이 튀는 것을 방지하고, 수위 센서와 실리콘 튜브를 고정하기 위해 3D 프린터로 뚜껑을 제작하였다. 제작된 뚜껑은 실리콘 튜브의 직경에 따라 총 세 가지로 만들어졌다. 수위 센서는 259 mm의 길이 25.4 mm인 PN-12110215TC -8(Milone Technologies, Sewell, NJ, USA)를 사용하였다. 아두이노(Arduino)는 다양한 모델이 있지만 가장 널리 사용하는 아두이노 우노(Arduino Uno) 보드를 사용하였다. 13개의 디지털 입출력뿐만 아니라 공식 홈페이지를 통해 제공하는 프로그램을 이용할 수 있다. 아두이노 보드에는 5V 출력의 디지털 신호가 내장되어 있다(그림 1). 본 연구에서는 아두이노 우노의 내장된 기능을 활용하여 회로에서 수위의 변화값을 살펴보고 PLX-DAQ (Parallax, Minneapolis, MN, USA)를 통해 데이터 측정 자료를 대표적인 스프레드시트(spreadsheet)인 엑셀(Excel)로 실시간으로 받았다. 또한 시리얼 모니터(serial monitor) 기능을 이용하여 보정 작업을 수행할 수 있고 실시간으로 측정값을 볼 수 있다. 시리얼 플로터(serial plotter) 기능은 실시간으로 나타나는 측정값의 변화를 그래프로 볼 수 있다.

수위센서와 점프선, 저항 510옴을 이용하여 회로도와 연결한 후, 아두이노 USB cable을 이용하여 회로도와 PC를 연결하였다. 물통에 500 mL 물을 채운 후 제작한 뚜껑에 수위센서와 실리콘 튜브를 넣어 고정하였다. 수위센서와 아두이노 회로도를 연결한 후 아두이노 USB cable로 PC를 연결하였다. 정확한 분석을 위해 먼저 수위센서의 보정작업을 수행하였고 둘 중 긴 값을 최대발성지속시간으로 기록하였다. 아두이노 우노를 실행시켜 연결이 확인되면, 시리얼 모니터를 통하여 수위센서가 물에 닿지 않았을 때의 저항값과 물에 닿았을 때 센서의 저항값을 확인하여 입력하여 수위센서의 변화를 측정하였다. 1초에 10번 즉, 0.1초에 한 번씩 데이터가 측정하도록 설정하였다. 수위 센서는 기포의 높이에 따라 값이 달라지며 엑셀의 Volume 칸에 표시된다. 수위가 높을수록 저항값이 낮아지고 수위가 낮아질수록 저항값이 높아지며 Resistance 칸에 표시되며 단위는  $\Omega$ 이다. 시리얼 플로터를 이용하여 시간별 volume 값의 변화를 그래프로 나타나도록 하였다(그림 2).

### 2.2.2. 실험 절차

먼저 대상자에게 물저항 발생의 원리를 간단히 설명을 하였다. 그 다음 1단계인 자세 및 호흡 훈련을 하였다. 얼굴, 어깨, 등, 허리 등 상체를 펴고 의자에 앉아 코로 숨을 충분히 들이마신 다음 입으로 내쉬는 복식호흡을 연습하였다. 이를 통해 근육을 이완시켰다. 자세 및 호흡훈련을 마친 대상자는 바른 자세를 유지하며 실리콘 튜브를 500 mL 물컵에 넣었다.

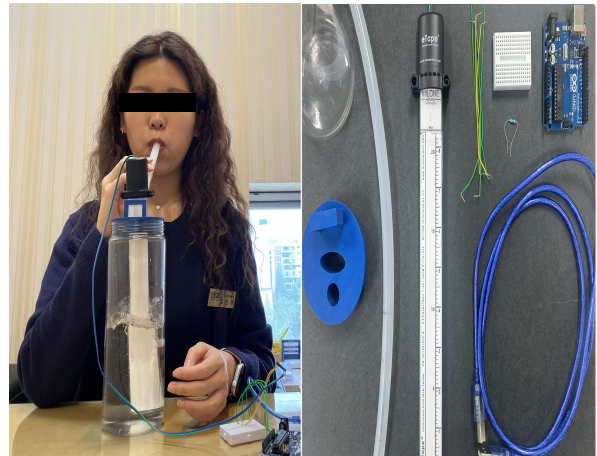
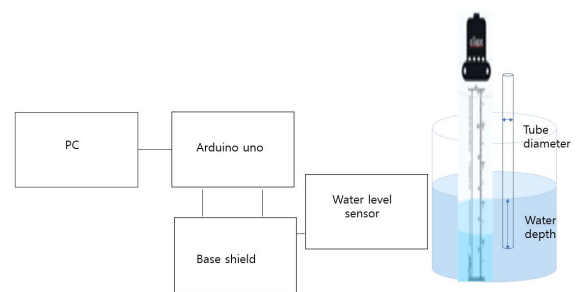


그림 1. 수위센서를 이용한 물저항 발생 바이오피드백 시스템  
Figure 1. Water resistance phonation biofeedback system using water level sensor

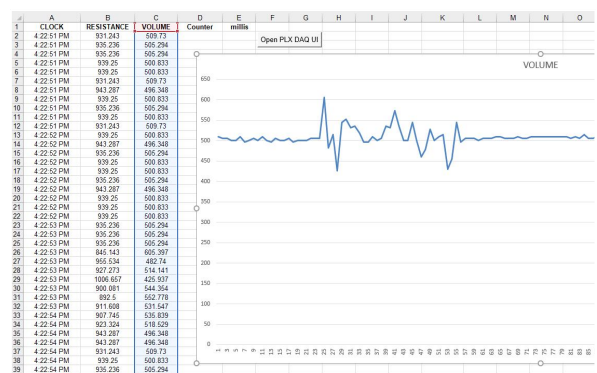


그림 2. 물저항발성 동안 실시간 수위 변화 그래프  
Figure 2. Water level graph in a real time during water resistance phonation

Choi et al.(2021)의 연구와 Simberg & Laine(2007)의 연구 방법에 따라 직경은 가장 좁은 5, 7, 10 mm로 선택하였으며, 깊이는 4, 7, 10 cm로 정하여 이를 무작위 순서로 하여 실시하였다.

입술로 튜브를 감싸고 코로 숨을 들이마시고 편안한 음높이에서 /w 발성을 하며 입으로 내쉬도록 하였다. 5초간 연장 발성을 지시하였고 실시간으로 출력되는 수위의 변화를 엑셀 파일로 저장하였다. 저장된 엑셀 파일에서 5초간 총 50개의 수위변화 측정값을 확인하고 평균으로 계산하였다. 그 다음 최대한 길게 연장 발성을 하도록 지시하여 최대발성지속시간을 2번 측정 한 뒤 PC에 저장하였다. 튜브의 직경과 깊이에 따른 최대발성

지속시간은 저장된 측정값 중 긴 값으로 계산하였다.

### 2.2.3. 통계 분석

본 연구는 과기능 음성장애 환자가 튜브 발생 동안 각 튜브 깊이(4, 7, 10 cm)에서 튜브의 직경(5, 7, 10 mm)에 따라 물거품 높이 변화와 최대발성지속시간에 영향을 미치는지 알아보기 위하여 일원 반복측정 분산분석(one-way repeated measure of ANOVA)을 실시하였다. Mauchly의 구형성 검정이 만족된 경우, 구형성 가정값을 사용하였고 만족하지 않은 경우에는 Greenhouse-Geisser의 값을 사용하였다. 개체 내 효과 검정 결과가 통계적으로 유의할 경우, 사후 검정을 실시하였다. 통계분석은 IBM SPSS(version 22.0)을 이용하였으며 통계적 유의수준은 .05로 하였다.

## 3. 결과

튜브의 각 깊이(4, 7, 10 cm)에서 직경(5, 7, 10 mm)에 따른 수위 변화량과 MPT를 측정하여 비교한 결과는 표 2, 표 3에 제시하였다. 비교 결과, 각 튜브 깊이에서 튜브 직경 간 유의한 차이가 있었으며, 각 튜브 직경에서 튜브 깊이 간에는 유의한 차이는 없었다.

### 3.1. /u/ 모음 연장 발성 시 튜브의 각 깊이에서(4, 7, 10 cm) 빨대 직경(5, 7, 10 mm) 간 수위 변화 비교

4 cm 튜브 깊이에서 직경(5, 7, 10 mm) 간 수위 변화의 사후 검정을 실시한 결과(그림 3), 5 mm와 7 mm에서는 통계적으로

유의한 차이가 없었으나( $p=.579$ ), 5 mm에 비해 10 mm에서 수위 변화가 더 적었으며( $p=.001$ ), 7 mm에 비해 10 mm의 수위 변화가 더 적었다( $p=.01$ ).

또한, 7 cm 튜브 깊이에서 직경(5, 7, 10 mm) 간 수위 변화에 대한 사후 검정을 실시한 결과(그림 4), 5 mm와 7 mm에서는 통계적으로 유의한 차이가 없었으나( $p=.066$ ), 5 mm 직경보다 10 mm 직경에서 수위 변화가 작았으며( $p=.000$ ), 7 mm 직경보다 10 mm 직경에서 수위 변화가 더 적었다( $p=.003$ ).

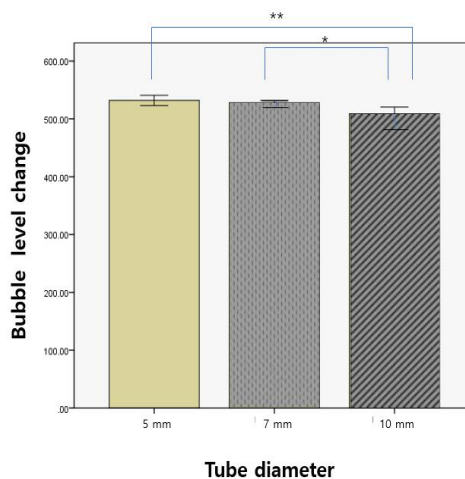


그림 3. 과기능적 음성장애 환자의 4 cm 튜브 깊이에서 세 가지 튜브 직경 간 수위 변화 비교

Figure 3. Comparison of bubble level changes among three tube diameters (5, 7, 10 mm) at 4 cm water depth in patients with hyperfunctional voice disorders

표 2. 서로 다른 튜브 깊이에서 세 가지 튜브 직경 간의 수위 변화

Table 2. Comparison of bubble level changes among three tube diameter (5, 7, 10 mm) at different water immersion depth (4, 7, 10 cm)

Parameters	Tube depth (cm)	Tube diameter (mm)			F-value	p-value
		5	7	10		
Water level change (Ω)	4	532.00±18.37	527.88±18.76	508.70±13.96	14.371	<.001***
	7	531.82±13.88	525.70±16.35	510.00±15.86	15.910	<.001***
	10	531.58±11.07	530.70±7.38	503.47±9.75	16.710	<.001***
MPT (sec)	4	13.64±7.91	11.47±7.90	11.05±6.39	15.670	<.001***
	7	11.17±6.27	11.41±5.90	10.47±3.88	18.980	<.001***
	10	12.05±4.43	10.47±3.88	9.05±5.43	37.521	<.001***

\*\*\* $p<.001$ .

MPT, maximum phonation time.

표 3. 서로 다른 튜브 직경에서 세 가지 튜브 깊이 간의 수위 변화

Table 3. Comparison of bubble level changes among three water immersion depth (4, 7, 10 cm) at different tube diameter (5, 7, 10 mm)

Parameters	Tube diameter (mm)	Tube depth (cm)			F-value	p-value
		4	7	10		
Water level change (Ω)	5	534.00±22.31	531.4±12.17	537.70±21.99	1.41	.258
	7	527.88±18.76	525.70±16.36	530.70±17.38	1.46	.246
	10	510.64±18.43	506.29±16.66	503.47±9.75	.90	.414
MPT (sec)	5	14.47±5.76	13.88±3.03	13.64±4.39	2.78	.0771
	7	12.05±5.88	11.41±5.90	10.94±4.81	3.74	.0432*
	10	11.17±6.91	11.05±7.27	9.05±5.43	4.06	0.027**

\* $p<.05$ , \*\* $p<.01$ .

MPT, maximum phonation time.

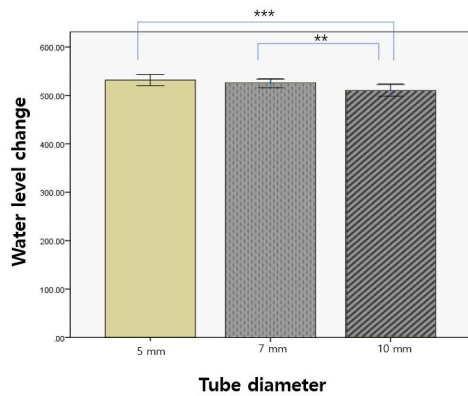


그림 4. 과기능적 음성장애 환자의 7 cm 튜브 깊이에서 세 가지 튜브 직경 간 수위 변화 비교

Figure 4. Comparison of bubble level changes among three tube diameters (5, 7, 10 mm) at 7 cm water depth in patients with hyperfunctional voice disorders

10 cm 튜브 깊이에서 직경(5, 7, 10 mm) 간 수위 변화에 대한 사후 검정을 실시한 결과(그림 5), 5 mm와 7 mm에서는 통계적으로 유의한 차이가 없었으나( $p=.753$ ), 5 mm 직경보다는 10 mm 직경에서 수위 변화가 더 작았으며( $p=.000$ ), 7 mm 직경보다는 10 mm 직경에서 수위 변화가 더 작았다( $p=.001$ ).

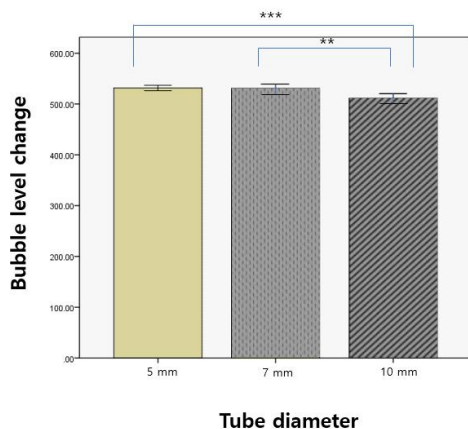


그림 5. 과기능적 음성장애 환자의 10 cm 튜브 깊이에서 세 가지 튜브 직경 간 수위 변화 비교

Figure 5. Comparison of bubble level changes among three tube diameters (5, 7, 10 mm) at 7 cm water depth in patients with hyperfunctional voice disorders

### 3.2. /u/ 모음 연장 발생 시 튜브의 각 깊이에서(4, 7, 10 cm) 빨대 직경(5, 7, 10 mm) 간 Maximum Phonation Time(MPT) 비교

4 cm 튜브 깊이에서 직경(5, 7, 10 mm) 간 수위 변화의 사후 검정을 실시한 결과(그림 6), 직경 중 5 mm과 7 mm 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었으나( $p=.370$ ), 10 mm의 MPT가 5 mm의 MPT에 비해 유의하게 짧았으며( $p=.000$ ), 10 mm의 MPT가 7 mm

의 MPT에 비해 통계적으로 유의하게 짧게 나타났다.

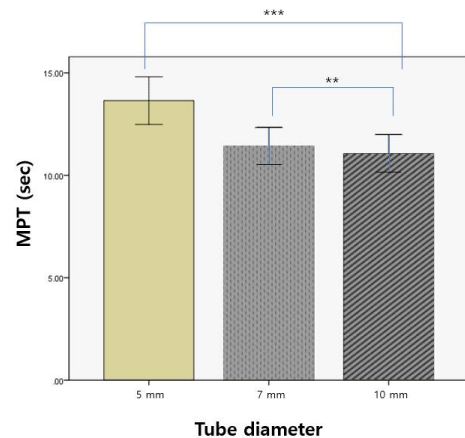
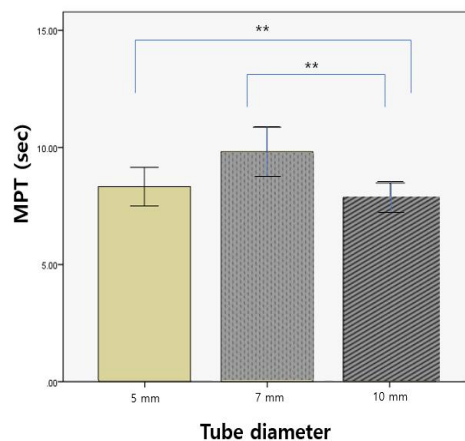


그림 6. 과기능적 음성장애 환자의 4 cm 튜브 깊이에서 세 가지 튜브 직경 간 MPT 비교

Figure 6. Comparison of MPT among three tube diameters (5, 7, 10 mm) at 4 cm water depth in patients with hyperfunctional voice disorders

7 cm 튜브 깊이에서 직경(5, 7, 10 mm) 간 수위 변화의 사후 검정을 실시한 결과(그림 7), 5 mm와 7 mm에서는 통계적으로 유의한 차이가 없었으나( $p=.710$ ), 5 mm 직경에 비해 10 mm 직경에서 유의하게 MPT가 짧았으며( $p=.001$ ), 7 mm 직경에 비해 10 mm 직경에서 유의하게 MPT가 짧았다( $p=.001$ ).

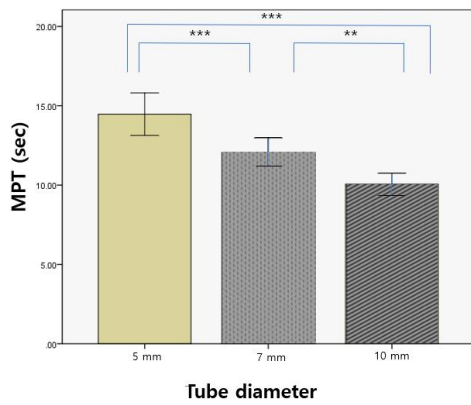


MPT, maximum phonation time.

그림 7. 과기능적 음성장애 환자의 7 cm 튜브 깊이에서 세 가지 튜브 직경 간 MPT 비교

Figure 7. Comparison of MPT among three tube diameters (5, 7, 10 mm) at 7 cm water depth in patients with hyperfunctional voice disorders





MPT, maximum phonation time.

그림 8. 과기능적 음성장애 환자의 10 cm 튜브 깊이에서 세 가지 튜브 직경 간 MPT 비교

Figure 8. Comparison of MPT among three tube diameters (5, 7, 10 mm) at 10 cm water depth in patients with hyperfunctional voice disorders

10 cm 튜브 깊이에서 직경(5, 7, 10 mm) 간 수위 변화의 사후 검정을 실시한 결과(그림 8), 5 mm 직경에 비해 7 mm 직경에서 MPT가 유의하게 짧았으며( $p=.000$ ), 5 mm 직경에 비해 10 mm 직경의 MPT가 유의하게 짧았고( $p=.000$ ), 7 mm 직경의 MPT가 10 mm의 MPT에 비해 유의하게 길었다( $p=.002$ ).

### 3.3. 서로 다른 튜브의 직경(5, 7, 10 mm)에서 빨대 깊이(4, 7, 10 cm) 간 물거품 높이 변화 비교

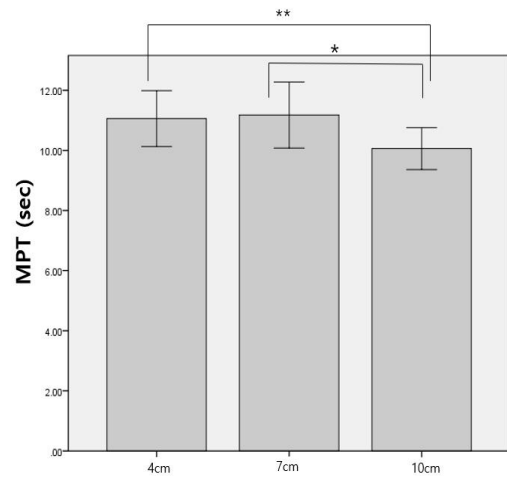
/u/ 발생 시 직경 5 mm에서 빨대 깊이 4 cm일 때  $534.00 \pm 22.31$  이었고, 깊이 7 cm일 때  $531.4 \pm 12.17$ , 깊이 10 cm일 때  $537.70 \pm 21.99$ 로 10 cm 깊이일 때 가장 높았으나, 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다( $p > .05$ ). 이와 마찬가지로, 직경 7 mm에서 물거품 높이 변화는 깊이 4 cm일 때  $527.88 (\pm 8.76)$ 이었고, 깊이 7 cm일 때  $525.70 (\pm 16.36)$ 이었으며, 깊이 10 cm일 때  $530.70 (\pm 17.38)$ 으로 10 cm일 때 가장 높았으나 유의한 차이는 보이지 않았다.

직경 10 mm에서는 깊이 4 cm일 때 물거품 높이 변화의 평균과 표준편차는  $510.64 \pm 8.43$ 이었고 깊이 7 cm일 때 수위변화의 평균은  $506.29 \pm 16.66$ 이었으며, 깊이 10 cm일 때 수위변화의 평균은  $503.47 \pm 9.75$ 로 10 cm일 때 가장 낮았으나, 유의한 차이는 보이지 않았다.

### 3.4. 서로 다른 튜브의 직경(5, 7, 10 mm)에서 튜브 깊이(4, 7, 10 cm) 간 Maximum Phonation Time(MPT) 비교

직경 5 mm에서는 빨대 깊이별 유의한 차이가 없었으며, 직경 7 mm에서 튜브 깊이(4, 7, 10 cm) 간 수위 변화의 사후 검정을 실시한 결과(그림 9), 깊이 중 4 cm와 7 cm 간 차이( $p=.290$ )와 4 cm와 7 cm 간 차이( $p=.135$ )에서는 통계적으로 유의한 차이가 없었으나, 4 cm 깊이에서 MPT보다 10 cm의 MPT가 유의하게 짧았으며( $p=.005$ ), 7 cm의 MPT에 비해 10 cm의 깊이에서 MPT가 짧았다( $p=.021$ ).

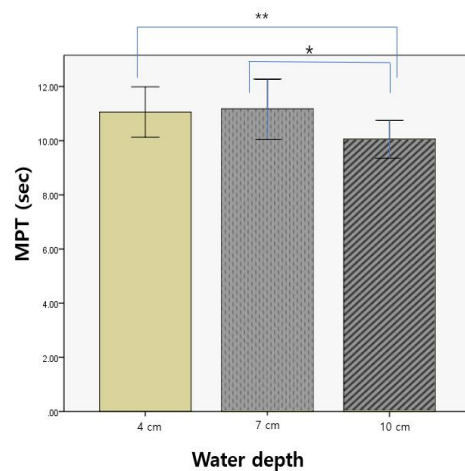
튜브 직경 10 mm에서 튜브 깊이(4, 7, 10 cm) 간 MPT의 사후 검정을 실시한 결과(그림 10), 깊이 중 4 cm와 7 cm 간 차이( $p=.824$ )에서는 통계적으로 유의한 차이가 없었으나, 4 cm와 10 cm 간 차이( $p=.005$ )와 7 cm와 10 cm 간 차이( $p=.021$ )에서는 통계적으로 유의하게 나타났다.



MPT, maximum phonation time.

그림 9. 과기능적 음성장애 환자의 7 mm 튜브 직경에서 세 가지 튜브 깊이 간 MPT 비교

Figure 9. Comparison of MPT among three water depth (4, 7, 10 cm) at 7 mm water tube diameter in patients with hyperfunctional voice disorders



MPT, maximum phonation time.

그림 10. 과기능적 음성장애 환자의 10 mm 튜브 직경에서 세 가지 튜브 깊이 간 MPT 비교

Figure 10. Comparison of MPT among three water depth (4, 7, 10 cm) at 10 mm water tube diameter in patients with hyperfunctional voice disorders

## 4. 논의 및 결론

본 연구는 과기능적 음성장애에 포함되는 근긴성발성장애, 내전형 연축성 발성장애, 성대결절로 진단받은 환자를 대상으로 수위센서를 이용하여 Lax Vox 음성치료 시 튜브의 직경과

깊이가 수위변화와 최대발성지속시간에 영향을 미치는지 살펴봄으로써 임상에서 과기능 음성장애 환자의 훈련법을 위한 토대를 마련하고자 하였다.

#### 4.1. 튜브의 직경(5, 7, 10 mm)에 따른 수위변화 비교

본 연구 결과, 모든 깊이에서 10 mm의 튜브 직경은 수위값이 각각 가장 작았으나, 과다기능적 음성장애 환자들은 튜브의 직경(5, 7, 10 mm)에 따라 깊이별(4, 7, 10 cm) 수위 변화에 유의한 차이를 보이지 않았다.

본 연구의 과다기능적 음성장애 환자와 마찬가지로 Choi et al.(2021)의 연구에서도 같은 수위센서장치를 이용하여 정상 성인을 대상으로 실시한 선행 연구에서 직경 10 mm에서 수위 변화 증폭률이 가장 감소하였는데 이는 직경이 넓을수록 호흡 유치가 어려워 수위 변화가 낮아졌다고 판단할 수 있다.

Lax Vox 음성치료는 튜브의 깊이에 따라 성대에 미치는 저항값이 달라진다고 보고되었다(Simberg & Laine, 2007).

Andrade et al.(2016)은 3 cm 이상의 깊이에서 성대 진동이 변하지 않았다고 보고하였는데, 본 연구에서는 가장 얇은 깊이를 4 cm로 하였기 때문에 깊이별로 수위 변화의 차이가 유의하지 않았을 것으로 추측된다.

Titze et al.(2022)은 튜브의 직경과 길이에 대한 연구에서 직경을 2배로 줄이면 저항이 4~10배로 증가한다고 하였다. 튜브의 길이를 2배 늘려도 저항이 증가하지만, 이는 직경이 2.5 mm보다 큰 경우에만 적용되었다. 즉, 2.5 mm 미만의 작은 직경의 경우에는 길이의 증가가 직경 감소만큼 저항값을 증가시키는데 효과적이었다. 따라서 튜브의 직경은 길이보다 저항과 구강압을 제어하는 중요한 변수임을 제안하였다. 본 연구에서 사용한 튜브의 가장 작은 직경은 5 mm였는데, 5 mm와 7 mm 직경과는 차이를 보이지 않았으나, 직경이 10 mm인 경우 가장 수위 변화가 유의하게 낮게 나타났다. 이러한 결과로 볼 때, 공기 중에서 발생하는 빨대 발성은 좁은 빨대에서 공기 저항이 가장 크게 발생하지만, 물저항 발생에서는 튜브의 깊이에 상관없이 직경이 넓은 튜브에서 더 많은 저항이 발생함을 유추해 볼 수 있다. 또한, Titze et al.(2002)은 노래를 부르기 위해 필요한 높은 성문하압을 생성하기 위해서는 성대 사이의 과도한 접촉을 줄이고 호흡을 훈련해야 하므로 공기 중에서 빨대 발성 시 직경이 좁은 빨대를 권장하였다. 직경이 좁은 빨대는 성대의 과도한 접촉 없이 호흡근과 고음 발성을 단련하기 위한 vocal warm up으로 권장하였다. Andrade et al.(2016)은 SOVTE를 사용한 음성 치료에 일반적으로 사용되는 서로 다른 튜브 간의 흐름과 생성된 배압 사이의 관계 조사하기 위해 연구는 반폐쇄성 성대운동에 일반적으로 사용되는 10개의 상이한 튜브, 즉 길이와 직경이 상이한 8개의 빨대, 공진 튜브 및 Lax Vox 튜브와 유사한 실리콘 튜브에 대한 후압(back pressure, Pback)과 유량(U) 관계를 조사하였다. 공기 중의 빨대 발성을 비교한 결과, Pback은 더 높은 흐름에서 더 빠르게 증가하는 것으로 나타났으며, 지름이 작은 빨대는 지름이 큰 빨대에 비해 Pback이 더 크게 증가하였으며, 빨대 직경을 비교할 때 Pback에 대한 극적인 효과가 나타났다고 보고하

였다. 따라서, 빨대 지름의 상대적 변화는 같은 길이의 상대적 변화에 비해 후압에 훨씬 더 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 한편, 튜브가 물에 잠기면 튜브 깊이에 의해 생성된 압력을 극복해야 흐름이 시작되는데, 물에 잠긴 넓은 튜브는 수심에 의해 결정되었으며, 주어진 튜브 깊이에서는 거의 일정한 후압을 생성하는 반면, 공기 중의 얇은 빨대는 흐름이 변화함에 따라 상대적으로 큰 후압의 변화를 생성한다고 하였다. 한편, 공기에 있는 넓은 튜브의 경우는 Pback의 결정적인 요인은 공기의 흐름인 반면, 물에서 더 넓은 튜브의 경우, Pback의 주요 결정적인 요인은 물 깊이라고 하였다. 이것은 물이 있는 운동과 없는 운동이 사용자에게 상당히 다른 피드백을 초래한다는 것을 보여준다. 따라서, 임상 현장에서 환자들에게 가장 적합한 운동 방법을 고려할 때 튜브 간의 차이뿐만 아니라 튜브가 구현되는 방법(즉, 공기 vs. 물)을 고려해야 한다. 본 연구에서는 구강압을 직접적으로 측정하지는 않았으나, 본 연구에서는 제일 굵은 10 mm의 튜브를 제일 깊은 10 cm로 넣었을 때 수위값이 503으로 가장 작았는데, 이는 높은 저항이 유도되어서 큰 성문하압을 필요로 하기 때문에 호흡 유치가 어려운 것으로 보인다. 하지만, Andrade et al.(2016)은 물 속에서 얇은 튜브보다 더 넓은 튜브가 주어진 물 깊이에서 일정한 압력을 생성하기 때문에 음성 문제가 있는 환자들은 운동 학습 이론에 따라 일관되게 운동할 수 있다고 제안하였다. 비록 본 연구에서 과다기능음성장애 환자들이 넓은 빨대에서 비교적 짧지만 일정한 수위 변화를 나타냈는데, 이러한 결과는 좁은 빨대에 비해 더 일정한 압력을 형성할 수 있기 때문으로 추측된다. 따라서, 성대근의 긴장을 보이는 음성 장애 환자들에게 주어진 튜브 깊이에서 직경이 넓은 튜브의 사용은 호흡의 길이는 짧지만, 일정한 수위 높이를 유지함으로써 호흡의 지지를 통해 과기능 음성장애 환자의 과내전 감소에도 적합할 것임을 시사하였다.

#### 4.2. 튜브의 깊이(4, 7, 10 cm)에 따른 수위 변화 비교

Tyrmi et al.(2017)은 길이가 각각 35, 27 cm이며 직경은 12, 9 mm의 튜브를 이용하여 6명의 대상자에게 튜브를 물에 넣고 큰 소리를 3번 내라고 지시하였다. 이때 튜브를 물에 넣은 깊이를 2, 10 cm로 하였으며 전기성문과형검사(electroglottography, EGG)를 실시하여 성대접촉률(closed quotient, CQ)을 살펴보았다. 그 결과, 2 cm의 깊이에서 다소 낮은 CQ값을 나타냈다고 보고하였으며, 이는 낮은 깊이에서는 다소 낮은 저항을 요구한다는 것을 시사하였다.

Guzmán et al.(2016)은 입술 트릴, 혀 트릴, 허밍, 빨대 발성, Lax Vox tube 등 반폐쇄성도훈련 기법에 따라 전기성문과형검사를 이용하여 과다기능적 음성장애 환자 집단 40명과 음성 문제에 없는 정상 성인 집단 40명을 대상으로 성문폐쇄율(CQ)을 비교하였다. 그 결과, 두 집단 모두 입술과 혀트릴이 가장 낮은 성대접촉률을 보였으며, 튜브를 10 cm 깊이로 물에 넣고 발성하였을 때 성대접촉률이 가장 높게 나타났다. 이를 통해 빨대를 담그는 깊이가 깊어질수록 성대접촉률이 높아진다고 보고하였다.

Simberg & Laine(2007)은 1-2 cm의 수심은 상대적으로 낮은 구강압을 생성한다고 하였다. 따라서 튜브를 얇게 넣으면 낮은 저항이 요구되기 때문에 과기능적 음성장애 환자에게 적합하다고 하였다. Guzman et al.(2017)은 8명의 정상 성인을 대상으로 Lax Vox 수행 시 물의 깊이(5, 10, 18 cm)에 따라 성대 진동에 미치는 영향을 조사하였다. 그 결과, 물의 깊이가 깊을수록 CQ가 증가하였고, 주기 간 주파수 변동률은 물의 깊이가 5 cm일 때 가장 감소함을 보였다. 즉, 얇은 물의 깊이는 부드러운 발성을 촉진시켰고, 물의 깊이가 깊을수록 구강압을 보상하기 위해 호흡 및 성문하압을 증가시켰다. 따라서, 이러한 차이는 물저항의 정도에 따라 달라지며, 과기능 음성장애로 진단을 받은 환자를 위해 치료 운동을 선택할 때 고려되어야 할 것이다.

#### 4.3. 튜브의 직경(5, 7, 10 mm)에 따른 최대발성지속시간 비교

본 연구 결과, 튜브의 직경과 깊이는 최대발성지속시간에 영향을 미쳤다. 이전 연구에서는 튜브의 규격에 따라 최대발성지속시간에 미치는 영향은 보고되지 않았으나 직경이나 깊이에 따라 성문접촉률 또는 구강압이 증가함으로써 호흡능력이 개선됨을 보고하였다. 최대발성지속시간은 말을 하는 동안 호흡, 발성 체계를 알 수 있는 가장 간단한 검사이며(Duffy, 1995; Hirano et al., 1968), 최대발성지속시간을 측정하여 객관적인 수치를 보고한 연구는 없었다. 본 연구에서는 최대발성지속시간을 객관적인 수치로 비교함으로써 Lax Vox에 사용되는 튜브의 직경과 깊이가 호흡능력에 영향을 미친다는 것을 시사한다. 모든 직경에서 깊이별로 보았을 때 5 mm를 제외하고 모두 유의한 차이가 나타났다. 또한 모든 깊이에서 직경 10 mm의 최대발성지속시간이 11, 10, 9초로 가장 짧게 나타났다. 이는 수위 변화와 마찬가지로 Lax Vox 수행 시 튜브의 길이보다 직경이 더 큰 영향을 미친다고 보고한 Titze et al.(2022)의 연구 결과와 일치하였다. 특히, 제일 얇은 10 mm의 튜브를 제일 깊은 10 cm로 넣었을 때 최대발성지속시간이 평균 9.05초로 가장 짧았다. 높은 저항이 유도되어서 큰 성문하압을 필요로 하기 때문에 호흡을 지속적으로 유지가 어려운 것으로 해석할 수 있다. 따라서, 개별 피험자가 SOVT 연습을 생성하기 위해 사용하는 폐압을 고려하여 더 정확한 순서를 만들 수 있을 것이다. 또한, 최대발성지속시간의 길이 증가도 중요하지만 일정한 물높이를 유지할 수 있는지 호흡의 지지를 간접적으로 측정하는 것이 중요하며, 물저항발성 동안 수위 높이가 일정하게 유지될 때 좋은 발성을 낼 수 있을 것이다. 이외에도, 최대발성지속시간을 정량적으로 측정함으로써 물저항발성 동안 성대 진동 특성을 예측해 볼 수 있을 것이다.

본 연구 결과를 통한 결론은 다음과 같다. 물저항발성 동안 사용하는 튜브 직경과 튜브를 담은 물 깊이가 과다기능적 음성장애 환자의 호흡 훈련에 영향을 미쳤다. 즉, 직경이 클수록, 깊이가 깊어질수록 최대발성지속시간이 유의하게 짧아져 과다기능적 음성장애 환자의 호흡 길이에 영향을 미쳤다.

본 연구의 결과를 통해, 물저항 음성 치료 시 음성장애 환자

의 유형에 따라 튜브의 직경과 깊이를 다르게 선택함의 필요성을 보여준다(Guzman et al., 2017; Simberg & Laine, 2007). 또한 물저항 발성 시 호흡을 길게 유지하는 것뿐 아니라 일정하게 유지하도록 훈련하는 것이 매우 중요한데, 본 연구에서 개발된 물저항발성 바이오피드백 시스템은 물저항발성을 하는 동안 거품의 높이가 일정하게 유지되는 지 물거품의 패턴을 살펴볼 수 있으며, 임상가와 환자에게 시각적, 청각적, 촉각적 피드백을 제공할 수 있다. 또한, 수위센서를 사용하여 정량적으로 측정된 수위변화와 최대발성지속시간을 통해 임상가와 음성장애 환자에게 피드백을 제공할 수 있고 음성치료에 대한 효율적인 모니터링에도 도움을 줄 것으로 예상된다.

본 연구의 제한점과 제언은 다음과 같다.

첫째, 본 연구는 17명의 과기능적 환자를 대상으로 하여, 적은 수의 대상자로 연구가 진행되었다. 추후에는 더 많은 대상으로 연구를 진행할 것을 제안한다.

둘째, 연구 결과가 성별이나 연령대에 따른 호흡 기능에 영향을 받을 수 있기에, 추후에는 대상자를 집단으로 나누어 진행한 후 비교해 볼 것을 제안한다.

셋째, 본 연구에서는 튜브의 직경과 깊이를 세 가지로 분류하였다. 추후 연구에서는 더욱 다양한 직경과 깊이로 나누어 진행할 필요가 있다.

넷째, 본 연구는 과다기능적 음성장애 환자를 대상으로 진행하였다. 추후에는 성대마비, 노인성 음성과 같은 과소기능적 음성장애 환자에게도 진행할 것을 제안한다.

#### References

- An, J. H., Choi, S. H., Lee, K. J., Lee, K., Choi, C. H., & Youn, J. I. (2022). Clinical applications of facial sensor biofeedback: Implications for voice therapy or vocal training. *Communication Sciences & Disorders*, 27(2), 420-431.
- Andrade, P. A., Wistbacka, G., Larasson, H., Södesten, M., Hammarberg, B., Simberg, S., Švec, J., & Granqvist, S. (2016). The flow and pressure relationships in different tubes commonly used for semi-occluded vocal tract exercise. *Journal of Voice*, 30(1), 36-41.
- Andrade, P. A., Wood, G., Ratcliffe, P., Epstein, R., Pijper, A., & Švec, J. G. (2014). Electroglossographic study of seven semi-occluded exercises: Laxvox, straw, lip-trill, tongue-trill, humming, hand-over-mouth, and tongue-trill combined with hand-over-mouth. *Journal of Voice*, 28(5), 589-595.
- Berry, D. A., Verdolini, K., Montequin, D. W., Hess, M. M., Chan, R. W., & Titze, I. R. (2001). A quantitative output-cost ratio in voice production. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 44(1), 29-37.
- Calvache, C., Guzman, M., Bobadilla, M., & Bortnem, C. (2020). Variation on vocal economy after different semioccluded vocal tract exercises in subjects with normal voice and dysphonia.



- Journal of Voice*, 34(4), 582-589.
- Choi, S. H., Lim, K. B., Chae, H. R., & Youn, J. I. (2021). Development and usability of biofeedback system for water resistance therapy using sensor. *Clinical Archives of Communication Disorders*, 6(2), 104-112.
- Duffy, J. R. (1995). *Motor speech disorders: Substrates, differential diagnosis, and management*. St. Louis, MO: Elsevier Mosby.
- Fadel, C. B. X., Dassi-Leite, A. P., Santos, R. S., Santos, C. G. D. Jr., Dias, C. A. S., & Sartori, D. J. (2016). Immediate effects of the semi-occluded vocal tract exercise with LaxVox<sup>®</sup> tube in singers. *CoDAS*, 28(5), 618-624.
- Granqvist, S., Simberg, S., Heartegård, S., Holmqvist, S., Larsson, H., Lindestad, P. A., Sodersten, M., & Hammarberg, B. (2015). Resonance tube phonation in water: High-speed imaging, electroglottographic and oral pressure observations of vocal fold vibrations--a pilot study. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, 40(3), 113-121.
- Guzmán, M., Castro, C., Madrid, S., Olavarria, C., Leiva, M., Muñoz, D., Jaramillo, E., & Laukkanen, A. M. (2016). Air pressure and contact quotient measures during different semioccluded postures in subjects with different voice conditions. *Journal of Voice*, 30(6), 759.e1-759.e10.
- Guzman, M., Laukkanen, A. M., Krupa, P., Horáček, J., Švec, J. G., & Geneid, A. (2013). Vocal tract and glottal function during and after vocal exercising with resonance tube and straw. *Journal of Voice*, 27(4), 523.e19-523.e34.
- Guzman, M., Laukkanen, A. M., Traser, L., Geneid, A., Richter, B., Muñoz, D., & Echternach, M. (2017). The influence of water resistance therapy on vocal fold vibration: A high-speed digital imaging study. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, 42(3), 99-107.
- Hillman, R. E., Holmberg, E. B., Perkell, J. S., Walsh, M., & Vaughan, C. (1990). Phonatory function associated with hyperfunctionally related vocal fold lesions. *Journal of Voice*, 4(1), 52-63.
- Hirano, M., Koike, Y., & Von Leden, H. (1968). Maximum phonation time and air usage during phonation. Clinical study. *Folia Phoniatrica*, 20(4), 185-201.
- Koufman, J. A., & Blalock, P. D. (1991). Functional voice disorders. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 24(5), 1059-1073.
- Lee, S. J., Lee, K. Y., Lim, J. Y., & Choi, H. S. (2017). A comparison of acoustic & electroglottographic measures according to voiced lip trill methods. *Phonetics & Speech Sciences*, 9(4), 107-114.
- Lowell, S. Y., Kelly, R., Awan, S. N., Colton, R. H., & Chan, N. H. (2012). Spectral- and cepstral-based acoustic features of dysphonic, strained voice quality. *Annals of Otolaryngology, Rhinology, & Laryngology*, 121(8), 539-548.
- Maxfield, L., Titze, I., Hunter, E., & Kapsner-Smith, M. (2015). Intraoral pressures produced by thirteen semi-occluded vocal tract gestures. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, 40(2), 86-92.
- Ramig, L. O., & Verdolini, K. (1998). Treatment efficacy: Voice disorders. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 41(1), S101-S116.
- Roy, N., Merrill, R. M., Thibeault, S., Parsa, R. A., Gray, S. D., & Smith, E. M. (2004). Prevalence of voice disorders in teachers and the general population. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 47(2), 281-293.
- Simberg, S., & Laine, A. (2007). The resonance tube method in voice therapy: Description and practical implementations. *Logopedics, Phoniatrics, Vocology*, 32(4), 165-170.
- Titze, I. R. (2009). Phonation threshold pressure measurement with a semi-occluded vocal tract. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 52(4), 1062-1072.
- Titze, I. R., Laukkanen, A. M., Finnegan, E. M., & Jaiswal, S. (2002). Raising lung pressure and pitch in vocal warm-ups: The use of flow-resistant straws. *Journal of Singing-The Official Journal of the National Association of Teachers of Singing*, 58(4), 329-338.
- Titze, I. R., Maxfield, L., & Cox, K. T. (2022). Optimizing diameter, length, and water immersion in flow resistant tube vocalization. *Journal of Voice*. Article in Press.
- Titze, I. R., & Palaparthi, A. (2016). Sensitivity of source-filter interaction to specific vocal tract shapes. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 24(12), 2507-2515.
- Tyrmi, J., Radolf, V., Horáček, J., & Laukkanen, A. M. (2017). Resonance tube or lax vox? *Journal of Voice*, 31(4), 430-437.

• 김민경 (Min Gyeong Kim)

대구가톨릭대학교 일반대학원 언어청각치료학과 석사졸업  
경북 경산시 하양읍 하양로 13-13  
Tel: 02-516-1150  
Email: yjg04041@naver.com  
관심분야: 음성장애

• 최성희 (Seong Hee Choi) 교신저자

대구가톨릭대학교 언어청각치료학과 교수  
경북 경산시 하양읍 하양로 13-13  
Tel: 053-850-2542  
Email: shgrace67@gmail.com  
관심분야: 음성장애, 음성의학, 삼킴장애, 신경말장애

• 윤종인 (Jong-In Youn)

대구가톨릭대학교 의료공학과 교수  
경북 경산시 하양읍 하양로 13-13  
Tel: 053-850-2510  
Email: jyoun@cu.ac.kr  
관심분야: 의료공학, 센서

## 과기능적 음성장애 환자의 물저항발성: 튜브 직경과 물 깊이가 물거품 높이 및 최대발성지속시간에 미치는 영향\*

김민경<sup>1,2</sup> · 최성희<sup>1,3</sup> · 윤종인<sup>4</sup>

<sup>1</sup>대구가톨릭대학교 일반대학원 언어청각치료학과, <sup>2</sup>아름다운 목소리 이비인후과,

<sup>3</sup>대구가톨릭대학교 언어청각치료학과, 가톨릭청각음성언어센터, 생체모방감각연구소, <sup>4</sup>대구가톨릭대학교 의료공학과

### 국문초록

목적: 물 속에서 튜브 발성은 semi-occluded vocal tract(SOVT) 연습 중 하나로 환자가 튜브를 물 속에 잠기게 하여 거품을 내면서 발성을 하는 것으로 음성 훈련에 널리 사용되어 왔다. 본 연구는 과기능성 음성장애 환자를 대상으로 물저항발성 동안 튜브 직경과 튜브를 담그는 물 깊이가 물거품 높이와 최대발성지속시간(maximum phonation time, MPT)에 미치는 영향을 조사하는 것을 목적으로 한다. 방법: 과기능성 음성장애 환자 17명에게 튜브 직경(5, 7, 10 mm), 튜브를 담그는 물 깊이(4, 7, 10 cm)에 따라 지속적인 /w/ 발성을 하면서 거품을 내도록 하였다. 물거품 높이 및 MPT 기록을 위해 수위 센서를 이용한 물저항발성 바이오피드백 시스템을 사용하였다. 결과: 물거품 높이는 튜브 직경에 의해 유의하게 변화한 반면 MPT는 튜브 직경과 깊이에 따라 유의하게 변화하였다. 직경이 더 넓을수록 주어진 깊이에 대해 유의하게 낮은 물거품 높이를 나타냈지만, 상대적으로 일관된 버블 높이가 유지되었다. 물의 깊이에 따라 주어진 튜브 직경에서 물거품 높이는 유의한 차이가 없었으나, 물의 깊이에 따라 MPT는 유의하게 감소하였고 튜브가 넓을수록 MPT가 유의하게 감소하였다. 결론: 수위 센서 방식의 물저항 바이오피드백 시스템은 튜브 직경 및 수심에 따른 기포 특성 및 성대 진동에 대해 유용한 정보를 제공하였다. 또한, 수위센서를 이용한 물저항발성 바이오시스템은 과기능성 음성장애가 있는 환자의 물저항 발성 중 호흡 지지를 모니터링하는 데 유용하게 사용될 수 있다.

**핵심어:** 물저항발성, 과기능 음성장애, 튜브 직경, 기포 높이, 최대발성지속시간, 센서 기반 바이오피드백 시스템

### 참고문헌

- 안지호, 최성희, 이경재, 최철희, 윤종인(2022). 안면센서 바이오 피드백의 임상적 적용: 음성치료 또는 발성훈련에 미치는 효과. *언어청각장애연구*, 27(2), 420-431.
- 이승진, 이광용, 임재열, 최홍식(2017). 입술 트릴의 방법에 따른 음향학적 및 전기성문파형검사 측정치 비교. *말소리와 음성과학*, 9(4), 107-114.

\* 본 연구는 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2020S1A5A2a0145868).