

## Aerodynamic Characteristics of Subglottal Pressure Across Aging and Speech Task Types

Hee June Park<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Dept. of Speech and Hearing Therapy, Catholic University of Pusan, Professor

**Purpose:** Subglottal air pressure is a primary aerodynamic driving force for vocal fold vibration and a key determinant of vocal intensity and quality. However, age-related changes in subglottal pressure during natural speech remain insufficiently documented, and conventional nonsense word tasks may overestimate habitual vocal function. This study aimed to compare task-related differences in subglottal pressure and to examine age-related characteristics during sentence level speech.

**Methods:** Twenty healthy older adults aged 65 years or older and 20 healthy young adults aged 20 to 39 years participated. Subglottal pressure was indirectly estimated using the Aerophone II during a nonsense word task “ipipi” and a sentence reading task “Namu e ipi pinda.” Peak air pressure and mean air pressure were extracted. Paired *t*-tests examined task effects and independent *t* tests examined group differences.

**Results:** In both groups, sentence reading produced significantly lower peak and mean air pressure values than nonsense word production, indicating reduced vocal effort and greater ecological validity. During sentence reading, older adults showed significantly lower subglottal pressure than young adults, whereas group differences were attenuated during the nonsense word task, suggesting compensatory overexertion under artificial conditions.

**Conclusions:** Sentence reading provides a more accurate representation of habitual subglottal pressure than nonsense word tasks. Age-related reductions in sentence level subglottal pressure reflect diminished respiratory support and aerodynamic efficiency in older adults. Clinical voice assessment and intervention for aging populations should incorporate sentence based aerodynamic measures and prioritize respiratory pressure enhancement in routine clinical practice.

**Keywords:** Subglottal air pressure, aging voice, aerodynamic assessment, sentence reading

**Correspondence:** Hee June Park, PhD  
**E-mail:** june@cup.ac.kr

**Received:** December 15, 2025

**Revision revised:** December 22, 2025

**Accepted:** January 31, 2026

This work was supported by research funds of Catholic University of Pusan (2023).

**ORCID**

Hee June Park

<https://orcid.org/0000-0003-4801-3188>

### 1. 서론

음성은 인간이 타인과 소통하고 자신의 감정과 의사를 전달하는 가장 효율적이고 일차적인 수단이다. 이러한 음성 산출의 기저에는 폐로부터 유입된 공기가 성문하 공간에 압력을 형성하고, 이 압력이 성대의 저항을 이겨내며 기류를 발생시키는 공기역학적(aerodynamic) 원리가 작동한다(Titze, 1992). 성문하압은 성대 진동을 시작하고 유지하는 데 필요한 에너지원일 뿐만 아니라, 목 소리의 크기인 강도(loudness)를 조절하고, 음색(timbre)과 음질(quality)을 결정하는 데 있어 결정적인 역할을 한다(Fryd et al., 2016). 따라서 성문하압의 정밀한 측정과 분석은 정상적인 음성 산출 메커니즘을 이해하고, 음성 장애의 병태생리를 파악하는 데 있어 중요한 요소라 할 수 있다.

현대 의학의 발달로 평균 수명이 연장되고 고령 사회로 진입함에 따라, 노화에 따른 신체 기능의 변화와 그로 인한 삶의 질 문제가 중요한 화두로 떠오르고 있다(Im, 2025; Jang & Sung, 2025; Kim & Shin, 2024). 음성 기능 또한 노화의 과정에서 예외될 수 없으며, 노인성 음성(aging voice 또는 presbyphonia)은 노년층의 의사소통 능력을 저하시켜 사회적 고립감을 유발하고 삶의 질을 떨어뜨리는 주요 요인으로 작용한다. 노화는 후두 내 근육의 위축, 연골의 골화(ossification), 성대 점막의 탄성 저하 등 후두 구조의 변화뿐만 아니라, 폐활량의 감소, 흉곽의 경직, 호흡근육의 약화 등 호흡기계의 전반적인 기능 저하를 동반한다(Martins et al., 2015). 이러한 생리적 변화는 결과적으로 발생 시 필요한 공기역학적 지지 기반을 약화시켜, 기식성 음성(breathy voice), 음성 강도의 약화, 발생 지속 시간의 감소 등 다양한 음성 문제를 야기한다(Vaca et al., 2015).

그러나 현재까지 진행된 노인성 음성 연구의 대부분은 청지각적 평가나 음향학적 평가에 집중되어 왔다. 주파수 변동률(jitter), 진폭 변동률(shimmer), 소음 대 배음비(NHR) 등의 음향학적 지표

Copyright 2026 © Korean Speech-Language & Hearing Association.  
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.

들은 성대 진동의 결과물을 분석하는 데 유용하지만, 발성의 원동력인 호흡 압력과 기류의 역동적인 관계를 직접적으로 설명하는 데에는 한계가 있다(Holmberg et al., 2003). 특히 노인성 음성의 근본적인 원인이 단순히 성대 자체의 문제인지, 아니면 성대를 진동시키는 호흡 압력의 부족 때문인지를 명확히 규명하기 위해서는 성문하압에 대한 공기역학적 연구가 요구된다(Desjardins et al., 2022).

성문하압을 측정하는 가장 정확한 방법은 운상갑상막(cricothyroid membrane)을 바늘을 찔러서 성문 하부 공간에 압력 센서를 직접 삽입하는 침습적(invasive) 방법이다(Hertegard et al., 1995). 그러나 이 방법은 통증과 감염의 위험이 따르며, 피검자에게 심리적, 신체적 부담을 주기 때문에 임상 현장이나 일반적인 연구 목적으로 사용하기에는 윤리적, 현실적 제약이 따른다(Jiang et al., 2006). 이에 따라 현재 임상에서는 구강 내 압력(intraoral pressure)을 통해 성문하압을 간접적으로 추정하는 비침습적(non-invasive) 방법이 표준으로 자리 잡고 있다(Hertegard et al., 1995).

비침습적 성문하압 측정의 원리는 파열음(stop consonant) /p/를 발성할 때, 입술이 폐쇄되는 순간 성문이 열려 있어 구강 내 압력과 성문 하부의 압력이 평형(equilibrium)을 이룬다는 가정에 기초한다(Rothenberg, 1982). Aerophone II, PAS와 같은 공기역학적 검사 기기들은 이 원리를 이용하여 마스크와 구강 튜브를 통해 간편하게 성문하압을 측정할 수 있다(Schutte, 1992).

하지만 성문하압을 측정하는 과정에서 사용되는 발화 과제(speech task)의 종류에 따라 결과가 달리 해석될 수 있는 문제가 있다(Holmberg et al., 2003). 기존의 선행 연구들과 임상 프로토콜은 측정의 편의성을 위해 /ipipi/나 /apapa/와 같은 무의미 단어(nonsense word)의 반복 산출을 사용해 왔다(Plexico et al., 2011). 무의미 단어 과제는 파열음 구간을 명확히 확보하여 기계적인 분석을 용이하게 한다는 장점이 있으나, 실제 의사소통 상황과는 거리가 먼 인위적인 과제라는 치명적인 단점을 내포하고 있다(Holmberg et al., 2003).

선행 연구들에 따르면, 피검자들은 낯선 무의미 단어를 발음할 때 명료한 발음을 산출하기 위해 무의식적으로 과도한 발성 노력(hyperfunction)을 기울이거나, 평소보다 큰 목소리로 발성하는 경향이 있다(Tjaden et al., 2014). 이는 측정된 성문하압 수치가 피검자의 일상적인 발성 능력(habitual performance)을 반영하기 보다는, 특정 검사 상황에서 유도된 최대 능력(maximum performance)이나 왜곡된 수치일 가능성을 시사한다(Kent et al., 1987).

반면, 문장 읽기 과제는 조음 기관의 연속적이고 역동적인 움직임, 운율(prosody)의 변화, 그리고 인지언어학적 처리가 포함된 연결 발화(connected speech)로서, 실제 생활에서의 발화 패턴을 훨씬 더 잘 반영한다(Gerratt et al., 2016; Keidser et al., 2020). 일상생활에서의 음성은 단절된 단어의 나열이 아니라 문장 단위의 흐름으로 이루어지기 때문에, 문장 읽기 시의 성문하압을 측정하는 것이 개인의 실제적인 음성 기능을 평가하는 가장 적절한 방법이라 할 수 있다. 특히 인지 기능이나 운동 학습 능력이 저하될 수 있는 노년층의 경우, 낯선 무의미 단어보다는 익숙한

문장 구조를 가진 과제가 자연스러운 발성을 유도하는 데 더욱 효과적일 것으로 판단된다(Nuesse et al., 2018).

따라서 이 연구는 정상 노년층과 청년층을 대상으로 무의미 단어 산출과 문장 읽기 과제를 수행할 때의 성문하압을 비교함으로써, 발화 과제 유형이 성문하압에 미치는 영향과 노화가 발성의 공기역학적 구동력에 미치는 변화를 규명하고자 한다. 이를 통해 문장 읽기 과제가 실제 발화 특성을 더욱 자연스럽게 반영하는지 검증하고, 노인성 음성의 진단 및 재활에 적용 가능한 평가 프로토콜 및 임상적 함의를 제시하는 것을 목적으로 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상

본 연구는 노화에 따른 공기역학적 특성을 비교하기 위해 실험군인 노년층 집단과 대조군인 청년층 집단으로 대상을 선정하였다. 모든 피험자는 실험의 목적과 절차에 대해 충분한 설명을 듣고 자발적으로 참여에 동의하였다.

노년층 집단(elderly group)은 만 65세 이상의 여자 노인 20명을 대상으로 하였다. 노화 이외의 병리적 요인을 배제하고 순수한 노화의 영향을 관찰하기 위해 다음과 같은 기준을 적용하였다. (1) 이비인후과 전문의의 후두 내시경 검진 결과 성대 결절, 폴립, 성대 마비 등 기질적 또는 신경학적 병변이 없는 자, (2)청각적, 조음적 측면에서 의사소통에 지장을 줄 만한 이상 소견이 없는 자, (3)최근 1개월 이내에 감기나 상기도 감염, 알레르기 질환을 앓은 적이 없는 자, (4)과거에 음성 치료나 전문적인 발성 훈련(성악, 판소리 등)을 받은 경험이 없는 자, (5)노년층의 경우 인지 저하가 검사 지시 수행 및 문장 읽기에 영향을 미칠 수 있으므로, 한국판 몬트리올 인지평가(K-MoCA)를 실시하여 30점 만점에 23점 이상인 자만을 대상으로 선정하였다. 검사 수행에 영향을 줄 수 있는 심한 우울증, 시각 장애, 치과적 보철물 착용 문제가 없는 자로 검사를 시행하였다.

청년층 집단(young adult group) 만 20세 이상 39세 이하의 건강한 성인 여자 20명을 대상으로 하였다. 이들은 노화의 영향을 받지 않은 정상적인 음성 및 호흡 기능을 가진 집단으로, 선정 기준은 연령을 제외하고 노년층과 동일하며, 특히 현재 흡연을 하지 않고 호흡기 질환의 과거력이 없는 자로 제한하여 폐기능 변수를 통제하였다.

### 2. 실험 도구

성문하압을 포함한 공기역학적 변수들을 객관적이고 정밀하게 측정하기 위해 KayPENTAX(Lincoln Park, NJ, USA) 사의 PAS(Phonatory Aerodynamic System, Model 6600)를 사용하였다. 이 기기는 마스크를 이용하여 구강 내 기류(airflow)와 압력(pressure), 음성 강도(intensity)를 동시에 수집하고 분석할 수 있는 통합 시스템이다.

안면 마스크(face mask)는 기밀성이 유지되는 고무 재질의 마스크로, 코와 입을 모두 덮어 공기의 유출을 방지하도록 하였다. 기류 변환기(flowhead)는 F300L Flowhead를 사용하여 호기류의 속도를 측정하였다. 압력 튜브(pressure tube)는 직경 2mm, 길이 5cm 정도의 폴리에틸렌 실리콘 튜브를 사용하여 구강 내 압력을 감지하였다. 튜브의 끝은 구강 내 혀 위에 위치하게 되며, 치아에 의해 눌리지 않도록 하였다.

소프트웨어는 샘플링 모드를 구어 과업에서 측정할 수 있는 Running Speech Mode를 사용하였으며, 기류 범위(airflow range)는 2L/sec로, 압력 범위(pressure range)는 일반적인 회화 시 압력 범위를 고려하여 10~20cmH<sub>2</sub>O 범위 내로 설정하였다.

### 3. 실험 절차

캘리브레이션(calibration) 실험은 소음이 통제된 방음실에서 진행되었다. 피험자는 편안한 의자에 앉아 허리를 곧게 펴고 안정된 자세를 취하도록 안내받았다. 안경을 착용한 피험자의 경우 마스크 밀착을 위해 안경을 벗도록 조치하였다. 검사의 정확성을 보장하기 위해 매 피험자 검사 전, 기기의 매뉴얼에 따라 기류 캘리브레이션과 압력 캘리브레이션을 실시하여 영점(zero level)을 조정하였다.

발화 과제는 성문하압 측정의 이론적 배경인 '파열음 폐쇄 시 구강압과 성문하압의 평형' 원리를 충족시키면서, 본 연구의 목적인 과제 유형 간 비교를 위해 다음과 같은 두 가지 과제를 선정하였다.

#### 1) 무의미 단어 과제

발화 내용: 이피피(/i:pʰi:pʰi:/)

무의미 단어 발화 과제는 '이피피 /i:pʰi:pʰi:/로 설정하였다. 선정 근거로 모음 /i/는 고모음(high vowel)으로 혀의 위치가 높아 구강 내 용적 변화를 최소화하며, 양순 파열음 /p/는 입술을 통한 확실한 폐쇄를 제공하여 압력 측정에 가장 이상적인 음소 환경을 제공한다. 이는 선행 연구들에서 가장 널리 사용된 표준 과제이다.

#### 2) 문장 읽기 과제

발화 내용: "나무에 잎이 핀다"(/namue i:pʰi:pʰi:n da/)

문장 읽기 발화 과제는 '나무에 잎이 핀다 /namue i:pʰi:pʰi:n da/'로 설정하였다. 선정 근거로 무의미 단어 /i:pʰi:pʰi:/의 음소 배열을 문장 내에 자연스럽게 포함하고 있어 직접적인 비교가 가능하다. 선행 연구에서 /i/ 모음 환경이 아닌 다른 모음으로 변화될 경우 정확한 측정이 어렵다는 점을 고려하여, /i/ 모음 문맥이 유지되도록 구성된 문장이다(Lee & Hwang, 2013). 이 문장은 의미적, 구문적으로 완결성을 가지며, 한국어의 자연스러운 운율을 포함한다.

#### 3) 데이터 수집 절차

피험자의 입술 한쪽 구석으로 압력 튜브를 삽입하고, 튜브의 끝이 혀 위에 위치하도록 한다. 이때 튜브 구멍이 혀나 볼 점막, 치아에 의해 막히지 않도록 주의를 준다. 검사자는 피험자의 뒤쪽에서 한 손으로 머리를 받치고, 다른 한 손으로 마스크 손잡이를 잡아 피험자의 얼굴에 마스크를 완전히 밀착시킨다. 공기가 새어나갈 경우 측정값에 오류가 발생하므로 기류가 유지될 수 있도록 하였다.

피험자에게 평소 대화할 때의 편안한 목소리 크기와 높이로 각 과제를 읽도록 지시하였다. 각 과제는 최소 5회에서 10회 연속 반복하여 읽도록 하며, 중간에 호흡이 끊기지 않도록 한다. 피험자가 과도하게 긴장하거나 부자연스러운 발성을 할 경우 잠시 휴식을 취한 후 재검사를 실시하였다.

### 4. 자료 분석

수집된 데이터는 PAS 분석 프로그램을 이용하여 처리되었다. 각 발화 과제에서 파열음 /p/가 산출되는 구간을 육안으로 확인하고, 해당 구간에서의 압력 파형을 분석하였다. 최고 성문하압(peak air pressure: PAP)은 파열음 /p/의 폐쇄 구간(closure phase) 중 압력이 가장 높게 올라가는 지점의 수치(cmH<sub>2</sub>O)로 발생 시 순간적으로 가해지는 최대 압력을 의미한다. 평균 성문하압(mean air pressure: MAP)는 발화 구간 전체 혹은 타겟 음절 구간에서의 평균적인 압력 수치(cmH<sub>2</sub>O)로 발생 기간 동안 유지되는 전반적인 압력 수준을 의미한다.

### 5. 결과 처리

수집된 자료의 통계 처리는 SPSS Ver. 26.0을 사용하였다. 연구 대상자의 일반적인 특성을 파악하기 위해 기술통계(평균, 표준편차)를 산출하였다. 각 집단 내에서 발화 과제(무의미 단어, 문장)에 따른 성문하압의 차이를 검증하기 위해 대응표본 *t*-검정을 실시하였다. 집단 간(노년층, 청년층) 성문하압의 차이를 검증하기 위해 독립표본 *t*-검정을 실시하였다. 모든 통계적 유의 수준은 *p*<.05로 설정하였다.

## III. 연구 결과

### 1. 집단 내 발화 과제에 따른 성문하압 비교

#### 1) 청년층 집단

청년층 20명을 대상으로 무의미 단어와 문장 읽기 과제 간의 성문하압 차이를 분석한 결과는 Table 1과 같다. 최고 성문하압(PAP)의 경우, 무의미 단어 산출 시 평균 6.78cmH<sub>2</sub>O로 측정된 반면, 문장 읽기 시에는 평균 5.67cmH<sub>2</sub>O로 나타났다. 통계 분석 결과, 문장 읽기 시의 성문하압이 무의미 단어 산출 시보다 통계적으로 유의하게 낮은 것으로 확인되었다(*p*<.05). 평균 성문하압(MAP) 또한 무의미 단어 산출 시 평균 1.73cmH<sub>2</sub>O였으나, 문장

읽기 시에는 0.97cmH<sub>2</sub>O로 유의하게 감소하였다( $p<.05$ ). 무의미 단어 산출 시의 표준편차(1.77)가 문장 읽기 시(0.99)보다 크게 나타났다는데, 이는 피험자들이 낯선 무의미 단어를 발음할 때 개인별로 발성 전략의 편차가 크고 불안정한 반면, 문장 읽기에서는 비교적 일관되고 안정적인 발성 패턴을 보임을 의미한다.

**Table 1.** Comparison of subglottal pressure by task in the young adult group

Parameter	Nonsense word	Sentence reading	<i>t</i>
	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	
PAP	6.78 (1.77)	5.67 (0.99)	2.75*
MAP	1.73 (0.57)	0.97 (0.37)	4.53***

Note. PAP=peak air pressure; MAP=mean air pressure.  
\* $p<.05$ , \*\*\* $p<.001$

2) 노년층 집단

노년층 집단에서도 유사한 패턴이 관찰되었다(Table 2). 무의미 단어 산출 시 PAP는 평균 5.92cmH<sub>2</sub>O였으나, 문장 산출 시에는 4.35cmH<sub>2</sub>O로 유의하게 낮았다( $p<.01$ ). 이는 노화 여부와 관계없이, 발화 과제 유형이 성문하압 측정치에 강력한 영향을 미치는 변인임을 나타낸다. 즉, 노인들 역시 무의미 단어 과제에서는 의식적인 노력을 통해 더 높은 압력을 생성하려 하지만, 문장 과제에서는 평소의 저하된 호흡 기능을 반영한 낮은 압력이 나타나는 것이다.

**Table 2.** Comparison of subglottal pressure by task in the elderly group

Parameter	Nonsense word	Sentence reading	<i>t</i>
	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	
PAP	5.92 (1.95)	4.35 (1.25)	3.85**
MAP	1.45 (0.62)	0.78 (0.41)	4.01***

Note. PAP=peak air pressure; MAP=mean air pressure.  
\*\* $p<.01$ , \*\*\* $p<.001$

2. 집단 간(청년층, 노년층) 성문하압 특성 비교

본 연구의 핵심 질문인 노화에 따른 성문하압 변화를 규명하기 위해, 생태학적 타당도가 높은 문장 읽기 과제에서의 데이터를 중심으로 두 집단을 비교 분석하였다(Table 3). 분석 결과, 문장 읽기 시 노년층의 최고 성문하압은 평균 4.35cmH<sub>2</sub>O로, 청년층의 5.67cmH<sub>2</sub>O에 비해 통계적으로 유의하게 낮은 것으로 나타났다( $p<.001$ ). 평균 성문하압 역시 노년층(0.78cmH<sub>2</sub>O)이 청년층(0.97cmH<sub>2</sub>O)보다 유의하게 낮았다( $p<.05$ ). 이러한 결과는 노인들이 일상적인 문장을 발화할 때, 청년층만큼 충분한 호기압(expiratory pressure)을 생성하거나 유지하지 못하고 있음을 명확히 보여준다. 무의미 단어 과제에서는 노년층(5.92)과 청년층(6.78)의 차이가 상대적으로 적었으나, 문장 과제에서 그 격차가 벌어진 점은 매우 중요하다. 이는 노인들이 단발적인 과제에서는 순간적인 근력을 동원해 어느 정도 압력을 형성할 수 있지만, 호흡과 발성의 지속적인 조절이 필요한 연결 발화 상황에서는 호흡

지지(respiratory support)의 한계가 뚜렷하게 드러남을 시사한다.

**Table 3.** Between-group comparison of subglottal pressure during sentence reading

Parameter	Young adult	Elderly	<i>t</i>
	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	
PAP	5.67 (0.99)	4.35 (1.25)	4.43***
MAP <sup>b</sup>	0.97 (0.37)	0.78 (0.41)	2.05*

Note. PAP=peak air pressure; MAP=mean air pressure.  
\* $p<.05$ , \*\*\* $p<.001$

IV. 논의 및 결론

본 연구의 첫 번째 주요 발견은 모든 연령군에서 문장 읽기 시의 성문하압이 무의미 단어 산출 시보다 일관되게 낮게 측정되었다는 점이다. 이는 선행 연구들의 결과와 일치하며(Kent et al., 1987; Van Puyvelde et al., 2018), 공기역학적 검사 방법론에 있어 중요한 시사점을 제공한다. 기존 임상에서 주로 사용된 무의미 단어 /ipipi/는 검사 상황이라는 특수성으로 인해 피검자에게 심리적 부담감을 주고(Van Puyvelde et al., 2018), 명확한 발음을 위한 의도적인 과기능(hyperfunction)을 유발할 수 있다(Lam & Tjaden, 2013; Rosenthal et al., 2014). 즉, 피검자는 검사를 받고 있다는 인식 하에 평소보다 더 크고 강한 목소리를 내려고 노력하게 되며, 이는 실제 일상생활에서의 성문하압을 과대평가(overestimation)하는 결과를 초래한다.

반면, “나무에 잎이 핀다”와 같은 문장 읽기는 이미 자동화된 언어 처리 과정에 의존하므로, 피검자가 발음 자체보다는 문장의 의미나 흐름에 집중하게 되어 자연스러운 호흡과 발성을 유도한다(Gollan & Goldrick, 2019). 청년층 데이터에서 문장 읽기 시 표준편차가 현저히 줄어든 것은 이러한 해석을 강력히 뒷받침한다. 문장 과제는 개인 내, 개인 간 변동성을 줄여주어 더욱 신뢰할 수 있는 측정치를 제공한다. 따라서 임상 현장에서 음성 장애 환자, 특히 노인 환자를 평가할 때는 무의미 단어에만 의존해서는 안 된다. 환자가 진료실 밖에서 겪는 실제적인 발성 곤란을 파악하기 위해서는, 문장 수준의 과제를 포함하여 일상적 기능을 평가해야 한다(Roy et al., 2013). 이는 치료 목표 설정과 치료 효과 판정에 있어서도 현실적인 기준을 제시해 줄 것이다.

본 연구는 정상 노년층의 문장 읽기 시 성문하압이 청년층에 비해 유의하게 낮음을 확인하였다. 정상 노인이 평균 4.35cmH<sub>2</sub>O 수준의 낮은 압력을 보였다는 것은, 일반적인 대화에 필요한 적정 압력(5~10cmH<sub>2</sub>O)의 하한선에 머물거나 그에 미치지 못함을 의미한다. 이러한 성문하압 저하의 원인은 단순하지 않으며, 노화에 따른 호흡기계와 후두계의 복합적인 기능 저하로 설명되어야 한다.

성문하압은 근본적으로 폐에서 나오는 공기의 힘이다. 노화는 호흡 근육, 즉 횡격막(diaphragm)과 늑간근(intercostal muscles)의 근섬유 위축을 유발하여 호기 시 흉곽을 압박하는 힘을 약화시

킨다(Nagano et al., 2021). 또한 폐 실질 조직의 탄성이 감소함에 따라, 숨을 내설 때 폐가 원래대로 줄어들려 하는 힘인 탄성 반동압이 현저히 떨어진다. 이러한 폐 기능의 약화는 성문하 공간에 충분한 압력을 공급하지 못하는 일차적인 원인이 된다(Elliott et al., 2016). 성문하압이 형성되기 위해서는 폐뿐만 아니라 성대의 역할도 중요하다. 성대가 닫혀서 공기의 흐름을 막아주어야 압력이 형성된다. 그러나 노인성 음성의 특징인 성대 근육의 위축과 성대 점막 고유층의 변화는 성대를 얇게 만들고, 발성 시 성대가 완전히 닫히지 못하는 성문 폐쇄 부전을 초래한다. 이로 인해 기껏 생성된 압력이 성문 틈(glottal gap)으로 새어나가게 되어(air leakage), 유효 성문하압이 낮아지게 된다(Vaca et al., 2015). 본 연구 결과에서 노인들이 문장 읽기 시 낮은 압력을 보인 것은, 호흡 근육의 약화로 인해 강한 압력을 만들지 못하거나, 성대 틈으로 압력이 새어나가 유지하지 못하는 생리적 한계 상황에 있음을 시사한다. 특히 연결 발화에서는 호흡을 길게 유지해야 하므로 이러한 한계가 더욱 두드러진다.

연구 결과 낮은 성문하압은 목소리 크기를 작게 할 뿐만 아니라, 성대 진동의 규칙성을 떨어뜨려 쉰 목소리(hoarseness)를 유발하고, 말의 명료도를 떨어뜨린다. 이를 개선하기 위해 다음과 같은 구체적인 음성 훈련 전략이 필요하다. 노인의 성문하압 저하는 일차적으로 호흡 구동력의 부족에 기인하므로, 단순한 발성 연습 이전에 호흡 훈련이 선행되어야 한다. 특히 호기근 강화 훈련은 기구를 이용하여 저항을 이겨내며 숨을 내뿜는 훈련으로, 노인의 흉곽 및 복부 근육을 강화하여 성문하압 생성 능력을 직접적으로 향상시킬 수 있다(Yoo, 2022).

노인의 낮은 성문하압은 목소리 크기 감소뿐만 아니라 성대 진동의 불규칙성으로 인한 쉰 목소리와 말 명료도 저하를 초래한다. 이를 개선하기 위해서는 체계적인 음성 훈련 전략이 필요하다. 노인의 성문하압 저하는 호흡 구동력 부족에서 비롯되므로, 발성 연습 이전에 호흡 훈련이 선행되어야 한다. 특히 기구를 이용한 호기근 강화 훈련은 저항을 이겨내며 숨을 내뿜는 방식으로 흉곽 및 복부 근육을 강화하여 성문하압 생성 능력을 직접적으로 향상시킨다(Kim, 2019). 노인들이 평소 문장 읽기에서 낮은 압력을 사용하므로, 치료 시에는 평소보다 높은 타겟 압력을 설정하여 문장이나 대화 수준에서 이를 유지하는 훈련이 효과적이다. 무의미 단어나 모음 연장발성에서의 압력 개선이 실제 대화 시 음성 개선을 보장하지 않으므로, 훈련 초기부터 문장 읽기, 문단 읽기 등 인지적·언어적 부하가 있는 과제에서 적절한 호흡 지지를 유지하는 연습을 병행해야 한다.

본 연구는 정상 노년층의 문장 읽기 시 성문하압이 청년층보다 유의하게 낮음을 공기역학적 측정으로 객관적으로 입증하였으며, 문장 읽기 과제가 무의미 단어 과제보다 노인의 실제 발성 기능 평가에 있어 생태학적 타당도가 높음을 확인하였다.

다만 정상 노인만을 대상으로 하여 신경학적 질환을 동반한 노인에게 일반화하기 어렵고, 성문 기류율, 성문 저항 등 다양한 공기역학적 변수를 통합 분석하지 못한 한계가 있다. 향후 더 많은 표본과 다양한 연령층을 포함하여 호흡 근력과 성문하압 간 상관관계를 규명하는 연구가 필요하다.

노화로 인한 성문하압 감소는 삶의 질을 저해하는 기능적 문제

로 인식되어야 하며, 임상 현장에서는 문장 수준의 정밀한 공기역학적 평가를 통한 조기 진단과 호기근 강화 및 고강도 발성 훈련을 포함한 적극적인 음성 재활 프로그램 제공이 노년층의 건강관 의사소통과 삶의 질 향상에 기여할 것으로 기대된다.

## Reference

- Desjardins, M., Halstead, L., Simpson, A., Flume, P., & Bonilha, H. S. (2022). The impact of respiratory function on voice in patients with presbyphonia. *Journal of Voice*, *36*(2), 256-271. doi:10.1016/j.jvoice.2020.05.027
- Elliott, J. E., Greising, S. M., Mantilla, C. B., & Sieck, G. C. (2016). Functional impact of sarcopenia in respiratory muscles. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, *226*, 137-146. doi:10.1016/j.resp.2015.10.001
- Fryd, A. S., Van Stan, J. H., Hillman, R. E., & Mehta, D. D. (2016). Estimating subglottal pressure from neck-surface acceleration during normal voice production. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *59*(6), 1335-1345. doi:10.1044/2016\_JSLHR-S-15-0430
- Gerratt, B. R., Kreiman, J., & Garellek, M. (2016). Comparing measures of voice quality from sustained phonation and continuous speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *59*(5), 994-1001. doi:10.1044/2016\_JSLHR-S-15-0307
- Gollan, T. H., & Goldrick, M. (2019). Aging deficits in naturalistic speech production and monitoring revealed through reading aloud. *Psychology and Aging*, *34*(1), 25-42. doi:10.1037/pag0000296
- Hertegård, S., Gauffin, J., & Lindestad, P.-Å. (1995). A comparison of subglottal and intraoral pressure measurements during phonation. *Journal of Voice*, *9*(2), 149-155. doi:10.1016/S0892-1997(05)80248-6
- Holmberg, E. B., Doyle, P., Perkell, J. S., Hammarberg, B., & Hillman, R. E. (2003). Aerodynamic and acoustic voice measurements of patients with vocal nodules: Variation in baseline and changes across voice therapy. *Journal of Voice*, *17*(3), 269-282. doi:10.1067/S0892-1997(03)00076-6
- Im, I. (2025). A preliminary study on oral mucosal moisture index (OMMI) for early detection of oral dryness in community-dwelling older adults. *Journal of Speech-Language & Hearing Disorders*, *34*(4), 33-41. doi:10.15724/jslhd.2025.34.4.033
- Jang, H., & Sung, J. E. (2025). The effects of conversation treatment on language performance and quality of life with Alzheimer's disease. *Journal of Speech-Language & Hearing Disorders*, *34*(3), 23-36. doi:10.15724/jslhd.2025.34.3.023
- Jiang, J., Leder, C., & Bichler, A. (2006). Estimating subglottal pressure using incomplete airflow interruption. *The Laryngoscope*, *116*(1), 89-92. doi:10.1097/01.mlg.0000184315.00648.2f
- Keidser, G., Naylor, G., Brungart, D. S., Caduff, A., Campos, J.,

- Carlile, S., . . . Smeds, K. (2020). The quest for ecological validity in hearing science: What it is, why it matters, and how to advance it. *Ear and Hearing, 41*(1), 5S-19S. doi:10.1097/AUD.0000000000000944
- Kent, R. D., Kent, J. F., & Rosenbek, J. C. (1987). Maximum performance tests of speech production. *Journal of Speech and Hearing Disorders, 52*(4), 367-387. doi:10.1044/jshd.5204.367
- Kim, J. D., & Shin M. S. (2024). Awareness of communication-related quality of life and aural rehabilitation among the general middle-aged and elderly people. *Journal of Speech-Language & Hearing Disorders, 33*(2), 111-123. doi:10.15724/jslhd.2024.33.2.111
- Kim, J. O. (2019). Meta-analysis of semi-occluded vocal tract exercise studies on subjective voice evaluation. *Journal of Speech-Language & Hearing Disorders, 28*(2), 1-11. doi:10.15724/jslhd.2019.28.2.001
- Lam, J., & Tjaden, K. (2013). Intelligibility of clear speech: Effect of instruction. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 56*(5), 1429-1440. doi:10.1044/1092-4388(2013)12-0335
- Lee, I., & Hwang, Y.-J. (2013). A comparison study of phonation threshold pressure and nasalance according to vowels. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, 14*(2), 721-727. doi:10.5762/KAIS.2013.14.2.721
- Martins, R. H. G., Benito Pessin, A. B., Nassib, D. J., Branco, A., Rodrigues, S. A., & Matheus, S. M. M. (2015). Aging voice and the laryngeal muscle atrophy. *Laryngoscope, 125*(11), 2518-2521. doi:10.1002/lary.25398
- Nagano, A., Wakabayashi, H., Maeda, K., Kokura, Y., Miyazaki, S., Mori, T., & Fujiwara, D. (2021). Respiratory sarcopenia and sarcopenic respiratory disability: Concepts, diagnosis, and treatment. *Journal of Nutrition, Health and Aging, 25*(4), 507-515. doi:10.1007/s12603-021-1587-5
- Nuesse, T., Steenken, R., Neher, T., & Holube, I. (2018). Exploring the link between cognitive abilities and speech recognition in the elderly under different listening conditions. *Frontiers in Psychology, 9*, 678. doi:10.3389/fpsyg.2018.00678
- Plexico, L. W., Sandage, M. J., & Faver, K. Y. (2011). Assessment of phonation threshold pressure: A critical review and clinical implications. *American Journal of Speech-Language Pathology, 20*(4), 348-366. doi:10.1044/1058-0360(2011/10-0066)
- Rosenthal, A. L., Lowell, S. Y., & Colton, R. H. (2014). Aerodynamic and acoustic features of vocal effort. *Journal of Voice, 28*(2), 144-153. doi:10.1016/j.jvoice.2013.09.007
- Rothenberg, M. (1982). Interpolating subglottal pressure from oral pressure. *Journal of Speech and Hearing Disorders, 47*(2), 219-220. doi:10.1044/jshd.4702.219
- Roy, N., Barkmeier-Kraemer, J., Eadie, T., Sivasankar, M. P., Mehta, D., Paul, D., & Hillman, R. (2013). Evidence-based clinical voice assessment: A systematic review. *American Journal of Speech-Language Pathology, 22*(2), 212-226. doi:10.1044/1058-0360(2012/12-0014)
- Schutte, H. K. (1992). Integrated aerodynamic measurements. *Journal of Voice, 6*(2), 127-134. doi:10.1016/S0892-1997(05)80126-2
- Titze, I. R. (1992). Phonation threshold pressure: A missing link in glottal aerodynamics. *The Journal of the Acoustical Society of America, 91*(5), 2926-2935. doi:10.1121/1.402928
- Tjaden, K., Richards, E., Kuo, C., Wilding, G., & Sussman, J. (2014). Acoustic and perceptual consequences of clear and loud speech. *Folia Phoniatrica et Logopaedica, 65*(4), 214-220. doi:10.1159/000355867
- Vaca, M., Mora, E., & Cobeta, I. (2015). The aging voice: Influence of respiratory and laryngeal changes. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery, 153*(3), 409-413. doi:10.1177/0194599815592373
- Van Puyvelde, M., Neyt, X., McGlone, F., & Pattyn, N. (2018). Voice stress analysis: A new framework for voice and effort in human performance. *Frontiers in Psychology, 9*, 1994. doi:10.3389/fpsyg.2018.01994
- Yoo, J. Y. (2022). The effect of note scaling practice using portable respiration trainer on voice improvement in patient with hyperfunctional dysphonia. *Journal of Speech-Language & Hearing Disorders, 31*(1), 21-30. doi:10.15724/jslhd.2024.31.1.021

## 노화와 발화 과제 유형에 따른 성문하압의 공기역학적 특성

박희준<sup>1\*</sup><sup>1</sup> 부산가톨릭대학교 언어청각치료학과 교수

**목적:** 성문하압은 성대 진동을 유도하는 주요 공기역학적 구동력으로, 음성의 강도와 음질을 결정하는 핵심 변수이다. 그러나 자연스러운 발화 상황에서 노화에 따른 성문하압 변화는 충분히 규명되지 않았으며, 기존의 무의미 단어 과제는 일상적 발성 능력을 과대평가할 가능성이 있다. 본 연구는 발화 과제 유형에 따른 성문하압 차이를 비교하고, 문장 수준 발화에서 나타나는 노화 관련 특성을 규명하고자 하였다.

**방법:** 만 65세 이상의 정상 노년층 20명과 만 20~39세의 정상 청년층 20명이 참여하였다. PAS를 이용하여 무의미 단어 /ipipi/와 문장 읽기 과제 “나무에 잎이 핀다” 수행 시 성문하압을 간접 측정하였다. 최고 성문하압과 평균 성문하압을 산출하였으며, 과제 간 차이는 대응표본 t-검정, 집단 간 차이는 독립표본 t-검정을 통해 분석하였다.

**결과:** 두 집단 모두에서 문장 읽기 시 최고 성문하압과 평균 성문하압이 무의미 단어 산출 시보다 유의하게 낮게 나타나, 문장 과제가 더 적은 발성 노력과 높은 생태학적 타당도를 반영함을 확인하였다. 문장 읽기 과제에서 노년층은 청년층에 비해 성문하압이 유의하게 낮았으나, 무의미 단어 과제에서는 집단 간 차이가 감소하여 인위적 과제 상황에서의 보상적 발성 노력이 시사되었다.

**결론:** 문장 읽기 과제는 무의미 단어 과제보다 일상적 성문하압 특성을 보다 정확하게 반영한다. 문장 수준에서 관찰된 노년층의 성문하압 감소는 호흡 지지력과 공기역학적 효율의 저하를 의미한다. 따라서 노인 음성 평가 및 중재에서는 문장 기반 공기역학적 측정과 호흡 압력 강화를 중심으로 한 접근이 필요하다.

**검색어:** 성문하압, 노인성 음성, 공기역학적 평가, 문장 읽기

교신저자 : 박희준(부산가톨릭대학교)

전자메일 : june@cup.ac.kr

게재신청일 : 2025. 12. 15

수정제출일 : 2025. 12. 22

게재확정일 : 2026. 01. 31

이 연구는 2023년도 부산가톨릭대학교의 교내연구비 지원을 받아 수행된 연구임.

ORCID

박희준

https://orcid.org/0000-0003-4801-3188

## 참고 문헌

- 김재옥 (2019). 반폐쇄성도훈련의 주관적 음성평가에 대한 메타분석. **언어치료연구**, 28(2), 1-11.
- 김진동, 신명선 (2024). 장·노년층의 의사소통 관련 삶의 질 및 청능재활에 대한 인식. **언어치료연구**, 33(2), 111-123.
- 유재연 (2022). 휴대용 호흡훈련기를 사용한 음계 스케일링 훈련이 과기능적 음성장애인의 음성개선에 미치는 효과. **언어치료연구**, 31(1), 21-30.
- 이인애, 황영진 (2013). 모음에 따른 발성역치압력과 비성도 특성 비교 연구. **한국산학기술학회논문지**, 14(2), 721-727.
- 임익재 (2025). 구강건조증 조기 선별을 위한 지역사회 노인 대상 혀수분 측정 기초 연구. **언어치료연구**, 34(4) 33-41.
- 장하나, 성지은 (2025). 대화치료가 알츠하이머성 치매 환자의 의사소통 능력 및 삶의 질에 미치는 효과. **언어치료연구**, 34(3) 23-36.