

The Development and Application of a Nasality Amplitude Evaluation and Training Program Using a Micro-Vibration Sensor

Mi So Lee¹, Wha Soo Kim^{2*}

¹ Miso Child Development Center, Director

² Dept. of Speech-Language Pathology, Daegu University, Professor

Purpose: This study aimed to investigate the clinical usefulness of developing a nasal resonance device and the effect of nasal reduction by conducting a nasal reduction training program.

Methods: In this study, a nasometer using a vibration sensor was developed. The correlation was confirmed by comparing and analyzing the nasalance between the existing portable nasometer and the vibration sensor nasometer in 30 normal adult women. In addition, the clinical usefulness of vibration sensors in a nasometer was confirmed by comparing the normal of seven general children and seven children with VPI caused by cleft palate. Since then, the effectiveness of the program was verified by conducting a nasalance training program for seven children with cleft palate.

Results: In 30 normal adult women, the nasality amplitude between a portable nasometer and a vibration sensor nasometer was compared and analyzed. In addition, the normal of seven general children and seven children with velopharyngeal incompetence (VPI) due to cleft palate was compared. After that, the effectiveness of the program was verified to seven children with cleft palate.

Conclusions: This study can be a new attempt in that it measures the degree of nasality amplitude using the intensity of vibration (dB), which is different from the measurement unit (%) of the existing acoustic nasometer. The vibration sensor can be produced at a low cost and can be carried conveniently, so if commercialized, it can be easily used at home and high therapeutic effects can be expected.

Keywords: Nasometry, cleft palate, hypernasality

Correspondence : Wha Soo Kim, PhD

E-mail : whasoolang@hanmail.net

Received : September 15, 2023

Revision revised : January 04, 2024

Accepted : January 31, 2024

This article was based on the first author's doctor's thesis from Daegu University (2022).

ORCID

Mi So Lee

<https://orcid.org/0009-0000-9706-8607>

Wha Soo Kim

<https://orcid.org/0000-0003-4787-4824>

1. 서론

폐에서 만들어진 기류는 비단 호흡 뿐 아니라 소리(sound)를 만들어 내는 에너지로도 사용된다. 그 기류가 발음기관의 다양한 움직임으로 인해 인두강, 구강, 비강과 같은 공간에 변화를 가지면서 다양한 말소리로 전환된다. 우리나라 말소리는 크게 구강음(oral sound)과 비강음(nasal sound)으로 구성이 되며 /ㄱ, ㄴ, ㅇ/와 같은 비강음을 제외한 대부분이 구강음에 속한다. 이 두 가지 음을 구분하는 생리학적 구조는 연인두 폐쇄 기능이다. 연인두 폐쇄 기능은 비 호흡 시와 비강음의 조음 시를 제외한 모든 구강음의 조음 시와 구 호흡, 불기, 빨기, 연하 시에 연구개의 뒷부분이 후-상방으로, 인두측벽은 내측으로 인두후벽은 전방으로 이동하면서 비인강부를 폐쇄시키는 기능을 일컫는다(Kuehn, 1979). 즉, 연인두가 닫히고 열리는 밸빙(valving) 과정을 통해서 구강과 비강

에 공명을 일으키게 되는데 연구개 후측방 인두벽의 근육들이 구개법인두문(velopharyngeal port)을 적절하게 폐쇄하지 못하는 상태를 연인두 폐쇄부전(velopharyngeal incompetence: VPI)이라고 한다(Willing, 2003).

VPI의 말소리 특징은 구강음 산출 시 연인두 밸브가 열려 비강으로 기류가 흐르게 되는 과대공명(hypernasality)이 대표적이다. VPI가 있는 환자들은 구강 내 압력 유지를 위해 더 강도를 높여 발음해야 하기 때문에 발성기관과 관련된 근육에 과도한 긴장을 주어 발음을 하게 되는 보상작용이 나타나고, 이러한 특징은 성대 남용을 유발하여 성대결절이 발생하기도 한다. 또한, 비강으로의 기류 누출에 대한 보상작용으로 혀와 구개 접촉부위가 앞 부위에서 뒤 부위로 이동하면서 나타나는 구개음화 현상, 설측음화 현상, 인두음화 현상 그리고 연음이 경음으로 치환되는 성문파열음 등의 보상조음이 나타날 수 있다(Kim, 2000).

공명문제는 청지각적으로 구분이 가능하기 때문에 임상에서는 검사자가 대상자의 발화를 듣고, 공명의 문제를 선별하는 것이 보편적으로 이루어지고 있다. VPI 환자들에게 나타나는 공명의 문제를 좀 더 심도 깊게 확인하고자 한다면 거울흐림검사(mirror clouding test), 비익진동검사(nasal vibration test)와 같은 방법

도 있다. 거울흐림검사는 인중에 거울을 위치시켜 구강음으로 구성된 문장과 비강음으로 구성된 문장을 읽게 하여 구강음으로 구성된 문장에서 비강음으로의 기류 방출(nasal emission)이 존재하는지에 대해 판별하는 평가 방법이다. 비익진동검사는 검사자가 환자의 콧날에 손가락을 대어 구강음 혹은 비강음으로 구성된 단어나 문장을 따라하게 한 뒤, 과도한 비강 공명으로 인한 콧날의 진동을 진단하는 방법이다(Arnold, 2019). 두 검사 모두 간편하게 적용할 수 있으며 비강 공명의 이상 유무를 빠르게 확인할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 두 검사 모두 비강음으로의 기류 방출을 객관적으로 정량화할 수 없다는 단점이 있다.

최근 비성도를 객관화할 수 있는 검사들이 많이 개발되었으며 가장 보편적으로 사용되는 것은 미국 Kaypentax사에서 개발한 Nasometer II(model 6400, Kaypentax, USA)이다. Nasometer는 비성도(nasalalance)를 측정하는 기기로, 비성도는 비강 음향 에너지를 구강 음향 에너지와 비강 음향 에너지의 합으로 나누어 100을 곱한 백분율(%)로 표시된다(Lim & Sim, 2000). 이러한 비음측정기(nasometry)는 현재 객관성이 보장된 진단 도구로 가장 널리 사용되며 실시간으로 측정되는 비성도값을 활용하여 과대비성 치료 프로그램의 한 방법인 바이오피드백 기법을 시도할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 이 기기는 헤드셋을 사용해야 하기 때문에 착용에 대한 거부감이 있을 수 있고, 헤드셋의 크기가 아동용과 성인용으로 분리되어 있지 않으므로 얼굴 크기에 따른 유격이 발생할 경우엔 객관성을 보장하기 어렵다는 단점이 있다. 또한 헤드셋, 음향처리장치, 컴퓨터 등의 부속품이 많고, 고가의 장비라는 점을 고려하면 보편적으로 활용하기에는 제한점이 있다.

국내 연구에서 휴대용 비음측정기(portable nasometry)를 개발하여 연인두 폐쇄부전을 진단받은 구개열 아동의 비성도(%)를 측정해 보았다(Lee, 2016). 연구 결과, 기존의 비음측정기인 Nasometer II와 휴대용 비음측정기의 비성도 측정값 간 강한 상관관계를 확인할 수 있었으며 쉽고 간단하게 측정할 수 있다는 임상적 의의가 있었다. 휴대용이라는 간편함이 있는 반면 지속적으로 들고 있어야 하는 불편함과 기기가 얼굴에 고정되어 있지 않아 유격이 발생할 수 있는 단점이 있었다(Lee, 2016).

Choi 등(1995)의 연구에서도 진동 센서를 이용한 비강진동을 측정하는 공명 장치를 개발하고자 한 시도가 있다. 이 연구에서 정상군과 개방성 비음군의 감별이 용이하다는 임상적 의의가 있었으나 상용화되지는 못하였다. 또한 당시의 기술력으로 센서의 크기가 크고 두께가 두꺼워 콧날에 부착하는 것이 어려운 점으로 남아 있었다.

선행 연구들의 제한점을 보완하여 본 연구에서는 진동 센서를 활용한 비강공명 장치를 개발하여 진동 센서에서 산출된 비강 진동의 값과 휴대용 비음측정기의 비성도 간의 상관관계를 분석해 봄으로써 비강 공명 진단 기기로의 임상적 의의를 알아보고자 한다. 따라서 휴대용 비음측정기라 하더라도 지속적으로 기기를 들고 있어야 하는 수고스러움을 덜 수 있고, 손과 얼굴의 움직임에도 측정값의 객관성을 보장할 수 있다는 임상적 효용성을 확인할 수 있을 것이다.

구개열로 인한 과대비성의 치료 성과는 구개열의 심한 정도와 적절한 중재 방법도 중요하지만 연인두 폐쇄 근육의 강화를 위해서는 오랜 시간에 걸친 재활이 필요하고, 아동의 흥미도와 몰입도도 고려해야 할 사항이다. 그리고 아동의 몰입도와 흥미도를 결정하는 중요한 요인 중 하나가 디지털 환경에 대한 접근의 용이성이다. 따라서 본 연구에서는 진동 센서를 활용하여 측정한 비성도값을 애니메이션 기반으로 시각화하여 바이오피드백(biofeedback)을 줌으로써 환자에게 비성강도에 대한 객관적인 정보를 제공하고, 스스로 조절할 수 있는 과대비성 훈련 프로그램을 개발하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

개발된 진동 센서 비음측정기의 임상적 유용성을 확인하기 위해 성인 여성 30명(mean age=22.4; $SD=2.25$)을 대상으로 기존에 개발되어 임상적 유용성을 검증한 휴대용 비음측정기와 본 연구의 진동 센서를 이용한 비음측정기 간 비성도를 비교 분석하였다. 또한 개발한 진동 센서 비음측정기의 진단적 유용성을 확인하기 위해 일반 아동 7명(mean age=5.52, $SD=1.35$)과 구개열로 인한 연인두 기능부전(VPI) 아동 7명(mean age=5.33, $SD=1.47$)의 비성강도를 비교하였다. 구개열 아동은 모두 1차 구개열 수술을 받고, 2차 연인두피판술은 받지 않은 아동을 대상으로 하였다. 이후 구개열 아동 7명에 대해서는 비성도 훈련 프로그램을 적용하여 프로그램의 효과성을 검증하였다.

2. 검사 도구

1) 휴대용 비음측정기

휴대용 비음측정기는 선행 연구에서 개발한 비음측정 장치로 코와 입술 사이에 구비강 분리판을 이용하여 코와 입에서 나오는 각각의 음향 에너지의 합에서 비강 에너지의 양을 백분율(%)로 표시하여 비성도를 측정하는 장치이다(Lee, 2016). 휴대용 비음측정기의 경우 선행 연구에서 일반적으로 많이 사용하고 있는 Nasometer II와 상관관계를 비교한 결과, 두 기기 모두 과대비성 측정에 높은 진단적 가치가 증명되어 본 연구에서는 휴대가 간편한 비음측정기를 이용하여 연구를 진행하였다. 본 연구에서 사용한 휴대용 비음측정기의 구성은 Figure 1과 같다.

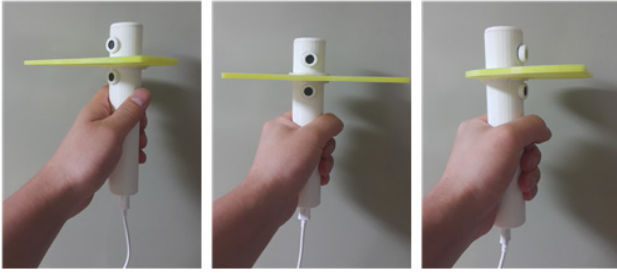


Figure 1. Portable nasometer (Lee, 2016)

2) 진동 센서를 이용한 비음측정기

본 연구에 사용된 진동 센서 비음측정기는 과대비성 및 비누출로 인한 콧등의 미세한 진동을 측정하여 진동 에너지의 양을 비성강도로 출력하도록 구성하였다(Figure 2).

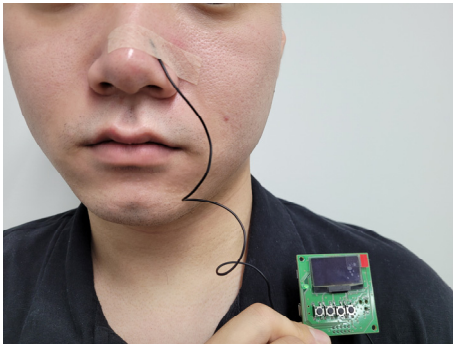


Figure 2. Vibration sensor nasometer

비성강도 데이터 수집을 위한 미세진동 센서를 구성하기 위해 폴리비닐리덴플로라이드(polyvinylidene fluoride: PVDF) 소재를 이용하여 제작하였다. PVDF의 소재의 경우 두께를 얇게 할 수 있으며 얇은 두께에도 주파수 응답률이 좋기 때문에 전자청진기 등 다양한 진동 검출에 사용되고 있으며 본 연구에서도 비음에 대한 미세진동을 측정하기 위해 사용하였다. PVDF를 활용한 미세진동 측정기의 설계 모식도를 Figure 3에 나타내었다.

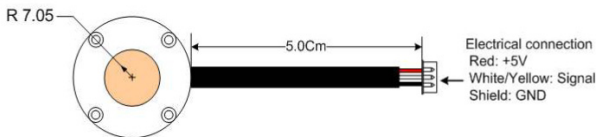


Figure 3. Schematic diagram of micro-vibration using PVDF

미세진동 센서를 작동하기 위해서는 전원 공급 장치와 미세진동의 작은 에너지를 증폭시킬 수 있는 출력 앰프를 구성해야 한다. 미세진동 센서에 입력되는 진동의 강도가 모든 진동에서 균일하게 입력되는 것을 알아보기 위해 균형조정(calibration) 장치를 구성하였으며 이 장치를 위해 별도의 PCB(printed circuit board)를 제작하였으며 제작한 PCB는 진동 센서를 부착하지 않은 상태에서 기본값을 측정하여 출력하도록 구성하였다(Figure 4).

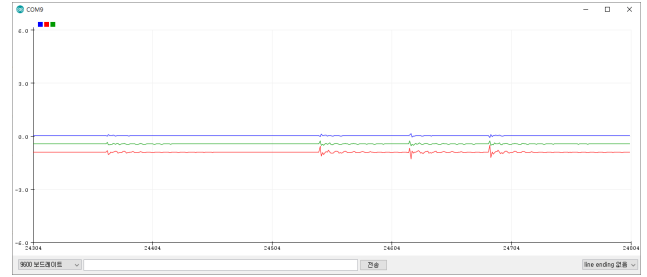


Figure 4. The result of micro-vibration

미세진동 강도의 출력값(dB)을 측정하기 위해 노트북 및 데스크탑 PC로 출력할 수 있는 USB 2.0 형태를 지원하는 전송 장치를 제작하였으며, PCB 내부에 미세진동을 출력할 수 있는 LCD와 소프트웨어를 설치하여 PC 연결 없이도 사용이 가능하며 PC와 연결 시에 소프트웨어가 자동으로 설치되어 PC에서도 간단하게 미세진동 측정값을 얻도록 하였다.

기존의 음향학적 비음측정기와 진동 센서를 이용한 비음측정기 간 임상적 유용성을 알아보기 위해 하나의 발화 과제에서 미세진동과 비음향 에너지를 동시에 측정하였으며 Figure 5와 같이 시스템을 구성하였다.

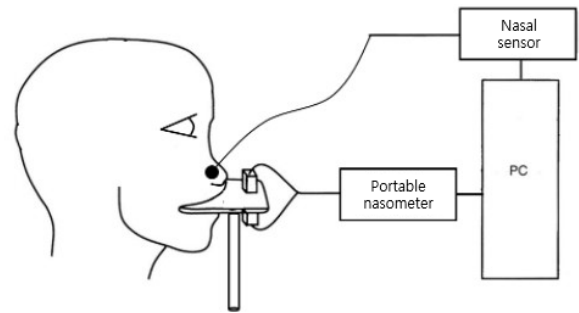


Figure 5. Nasality amplitude measurement process

미세진동 측정 소프트웨어는 Visual C++(Microsoft, USA)를 사용하여 프로그래밍 하였으며 피검자에 대한 정보, 미세진동의 값(dB), 미세진동의 변이를 확인할 수 있도록 하였다.

3) 비성도 훈련 프로그램

비성도 훈련 프로그램은 피험자가 발화하는 동안 진동 센서로 측정하는 진동 에너지를 비성도 값으로 변환하여 피험자의 역치를 측정하게 하였다. 측정되는 값에 따라 모니터 화면의 애니메이션이 움직이도록 구성하였으며 측정값의 변동에 따른 시각적 피드백을 주어 피험자가 인식할 수 있도록 하였다. 예를 들어 발화 문장에서 측정되는 비성강도의 양이 크면 캐릭터가 움직이지 않고, 비성강도가 적어질수록 캐릭터가 높이 날거나 하는 방식 등의 게임형식으로 스스로의 공명 기능을 인식할 수 있게 하였다. 비성도 훈련 프로그램의 화면은 Figure 6과 같다.



Figure 6. Nasalance training program screen

3. 실험 설계

1) 검사 문항

말소리장에 분석에서 많이 사용되는 과제 중 기본이 되는 모음 연장 발성과 비성도 평가에서 많이 사용되는 압력자음으로 구성된 문장으로 검사 문항을 구성하였다. 모음은 모음 삼각도를 기반으로 하여 제일 극단에 위치하고 있는 3개 모음(/아/, /이/, /우/)을 사용하였다. 비성도 평가에 가장 많이 사용되는 문장으로 아빠문장과 엄마문장(Choi et al., 1995), 엄마문단, 아가문단, 토끼문단이 있다(Hong, 1995). 본 연구에서는 피험자의 연령이 낮아 긴 문단을 읽기에 어려움이 있고, 검사어의 길이가 8음절일 때 비성도의 평가가 유용하다는 국내의 연구 결과(Kim et al., 2000)를 고려하여 비강자음이 없는 '아빠문장(아빠 아빠 학교 갔다)'과 비강자음으로 구성된 '엄마문장(엄마 엄마 매미 뱀뱀)'을 사용하였다.

2) 검사 방법

검사를 실시하기 전, 연구자는 피험자에게 진동 센서 비음측정기와 휴대용 비음측정기의 검사 방법을 간단하게 설명하고, 대상자의 얼굴 크기에 따라 유격이 발생할 수 있으므로 각 개인의 크기에 맞는 플라스틱 구비강 분리판을 사용하였다. 대상자 얼굴에 구비강 분리판이 코와 입술 사이에 수평으로 위치하도록 하여 검사자가 구비강 분리판의 움직임으로 인한 음향학적 비성도값의 오류를 최대한 줄이고자 하였다. 선행 연구를 토대로 USB를 컴퓨터나 노트북에 연결하여 장치가 자동으로 연결되면 매 검사 때마다 스피커와 수평이 되도록 구비강 분리판을 설치하고 스피커와 구비강 마이크 30cm 떨어진 곳에서 1,000Hz의 순음을 출력하여 균형조정을 실시하였다(Lee, 2016). 모음과 문장 순으로 검사어를 제시하였으며 글자를 읽지 못하는 경우 검사자가 먼저 읽어준 뒤 따라서 읽도록 지시하였다.

진동 센서 비음측정기를 이용하여 비성강도를 측정하는 경우에도 검사 방법을 설명 한 뒤 진동 센서를 콧등에 부착하고, 구비강 분리판이 입술과 코 사이에 수평을 유지하도록 하여 측정하였다. 매 검사를 실시할 때 마다 균형조정(calibration)을 하여 각 비강과 구강으로 들어오는 마이크의 입력값의 균형을 맞추고, 소프트웨어를 통해 비성강도를 기록하였다.

4. 결과 처리

통계 처리는 SPSS(statistics package for the social science,

ver. 21.0)을 이용하여 성인 여성 30명의 휴대용 비음측정기의 비성도값과 개발한 진동 센서 비음측정기의 비성강도값의 상관관계를 알아보기 위해 Pearson's 상관관계 분석을 실시하였다. 또한 연인두 기능부전이 있는 아동의 미세진동 측정값의 임상적 유용성을 알아보기 위해 일반 아동 7명과 연인두 기능부전 아동 7명의 비성강도를 샤피로 윌크 검정(Shapiro-Wilk test)를 통해 분석하였으며, 정규성 검정이 되지 않아 비모수 검정인 맨-휘트니 검정(Mann-Whitney test)을 통해 두 집단 간 차이를 비교하였고, 유의수준은 .05 미만으로 설정하였다.

비성도 훈련 프로그램이 연인두 폐쇄부전 아동의 과대비성 감소에 영향을 미치는지 효과성을 확인하기 위해 비성강도를 사전·사후 비교 실시하였다. 결과는 비모수 검정인 윌콕슨 부호 순위 검정(Wilcoxon signed rank)을 이용하여 비교 분석하였다.

III. 연구 결과

1. 진동 센서를 이용한 비음측정기와 음향학적 비음측정기의 측정값 간 상관관계 분석

비음측정기 간 발화 과제에 따른 비성도의 측정 결과는 Table 1과 같다. 진동 센서 비음측정기의 경우 콧등으로 전달되는 미세한 진동을 dB 단위로 측정하며, 음향학적 비음측정기는 구강과 비강으로 산출되는 에너지의 양을 백분위로 분석하여 비성도를 퍼센트로 산출하였다. 두 기기 간 측정 단위가 다르기 때문에 객관적인 통계 비교를 위해 두 수치간의 상관관계를 통해 진동 센서 비음측정기의 임상적 유용성을 비교하였다.

Table 1. Measurement value according to the speech task of the nasometer

Task	Vibration sensor nasometer (dB)	Portable nasometer (%)
	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>
/a/	26.32 (4.07)	12.71 (2.29)
/i/	40.40 (4.42)	19.40 (2.40)
/u/	27.90 (6.19)	13.70 (3.05)
Father sentence	26.71 (4.00)	13.33 (2.21)
Mother sentence	126.01 (10.40)	56.18 (4.73)

진동 센서 비음측정기와 음향학적 비음측정기의 모음 /아, 이, 우/, '아빠문장' 및 '엄마문장'에 대한 비음측정 강도와 음향학적 비음치에 대한 상관분석을 시행하였다. 상관분석 결과 두 측정기 간 상관계수가 모음 /아/는 $r=.934(p<.001)$, /이/는 $r=.938(p<.001)$, /우/는 $r=.972(p<.001)$, '아빠문장'의 경우 $r=.936(p<.001)$, '엄마문장'의 경우 $r=.905(p<.001)$ 로 매우 강한 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 개발한 진동 센서 비음측정기가 기존의 음향학적 비음측정기와 비교했을 때 유의미하게 비성도를 예측할 수 있는 측정 도구로 사용할 수 있는 것으로 판단된다.

2. 일반 아동과 구개열 아동 간 진동 센서 비음측정기의 진동 세기 비교

개발된 진동 센서 비음측정기의 과대비성에 대한 변별도를 알아보기 위해 구개열 아동과 일반 아동 간 발화과제에 대한 평균 비성강도를 측정하여 비교하였다. 두 집단 간 비성강도의 변화 결과는 Table 2에 제시하였으며, 과대비성의 심한 정도를 강도로 비교하기 위해 각 발화과제에 대한 비성강도의 차이를 그래프로 나타내었다(Figure 7).

Table 2. A comparison of vibration strength according to speech tasks between general and cleft-palate children

Task	Normal	Cleft	<i>u</i>
	<i>M (SD)</i>	<i>M (SD)</i>	
/a/	30.45 (5.18)	60.28 (5.33)	108.1*
/i/	36.21 (3.54)	68.92 (6.04)	126.4*
/u/	29.90 (4.12)	58.24 (5.11)	116.2*
Father sentence	27.65 (4.51)	55.65 (6.34)	120.1*
Mother sentence	92.01 (9.10)	101.04 (8.75)	189.3

* $p < .05$

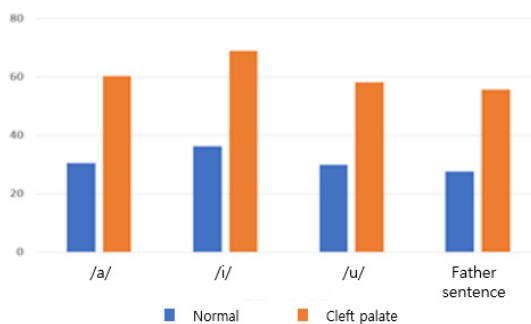


Figure 7. Differences in micro-vibration according to speech task between two groups

/a/ 발화과제에서 일반 아동의 경우 비성강도가 30.45dB, 구개열 아동은 60.28dB로 약 30dB의 차이를 보였으며 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p < .05$). /i/ 발화과제에서는 일반 아동은 36.21dB, 구개열 아동은 68.92dB로 약 32dB의 차이를 보였으며 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p < .05$). /u/ 발화과제에서는 일반 아동은 29.90dB, 구개열 아동은 58.24dB로 약 29dB 차이를 보였으며 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p < .05$). ‘아빠문장’은 일반 아동은 27.65dB, 구개열 아동은 55.65dB로 약 28dB 차이를 보였으며 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p < .05$). ‘엄마문장’의 경우 발화과제 내 비음 음소를 많이 포함하고 있어 두 집단 간 모두 비성강도가

높게 나타났으며 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

3. 진동 센서를 이용한 비성도 훈련 프로그램의 효과성

본 연구에서는 구개열 아동의 진동 센서의 시각적 피드백을 활용한 과대비성 감소 훈련의 효과를 비교하기 위해 30분씩 주 3회 총 8주간 훈련을 진행하였다. 사전 사후 평가를 시행하여 비성강도의 변화를 측정하였으며 비모수 통계 검정을 통해 분석하였다. 진동 센서를 이용한 비성도 훈련 프로그램에서 시각적 피드백을 활용하여 발화 과제에 따른 치료 전후의 비성강도를 각각 분석한 결과는 다음과 같다(Table 3).

Table 3. Comparison of pre-post nasality amplitude by speech task

Task		Mean (dB)	SD	<i>z</i>
/a/	Pre	35.42	5.46	7.02*
	Post	24.07	5.64	
/i/	Pre	65.02	7.92	5.43*
	Post	50.03	6.10	
/u/	Pre	44.47	5.30	2.81*
	Post	35.92	5.01	
Father sentence	Pre	50.32	6.35	4.47*
	Post	36.24	3.52	

* $p < .05$

/a/ 발화과제에서 비성강도의 변화는 치료 전 평균 비성강도는 35.42dB, 치료 후의 평균은 24.07dB로 11.35dB의 비성강도 감소가 나타났으며($p < .05$), /i/ 발화과제에서 비성강도의 변화는 치료 전 평균 65.02dB, 치료 후 평균은 50.03dB로 14.99dB의 비성강도 감소가 나타났다($p < .05$). /u/ 발화과제에서 비성강도 변화는 치료 전 평균 44.47dB, 치료 후 평균은 35.92dB로 8.55dB의 비성강도 감소가 나타났으며($p < .05$), 아빠문장 과제에서 비성강도의 변화는 치료 전 평균 50.32dB, 치료 후의 평균 36.24dB로 14.08dB의 비성강도 감소가 나타났다($p < .05$).

IV. 논의 및 결론

본 연구는 미세진동 센서를 이용한 비성강도 평가도구와 더불어 과대비성 감소 훈련 프로그램을 개발하여 임상적 유용성을 알아보고자 하였다. 진동 센서를 이용한 비음측정기와 기존의 음향학적 비음측정기 간의 상관관계를 비교하여 진동 센서를 이용한 비음측정기의 효과성을 확인하였다. 더불어 애니메이션 기반의 비성도 훈련 프로그램을 개발하여 과대비성 환자의 비성강도 감소 효과를 알아보고자 하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

첫째, 일반 아동을 대상으로 진동 센서 비음측정기와 음향학적 비음측정기 간 발화과제에 따른 비성도값을 측정하여 두 값의 상

관관계를 분석한 결과, 두 측정기 간 매우 강한 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 개발된 진동 센서 비음측정기가 비성도 평가도구로 유용함을 확인하였다.

둘째, 진동 센서 비음측정기를 사용하여 구개열 아동과 일반 아동 집단의 발화과제에 따른 비성강도를 측정하였다. 모음 과제 및 아바문장 과제에서 모두 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며 엄마문장 과제에서는 두 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았다. 엄마문장은 비음으로만 구성되어진 과제이므로 일반 아동 집단에서도 높은 비성강도를 나타내기 위해 두 집단 간의 차이를 살펴보기에 타당한 과제가 아니라고 할 수 있다. 결과적으로 진동 센서를 이용한 비음측정기가 과대비성의 정도를 평가할 수 있는 유용한 도구임을 확인할 수 있었다.

셋째, 구개열 아동을 대상으로 시각적 피드백을 활용한 비성도 감소 훈련을 실시하여 치료의 효과를 살펴보았다. 모든 발화 과제에서 치료 전 대비 치료 후의 비성강도가 감소하였다. 이 결과를 선행 연구를 통해 고찰해 보면 다음과 같다. Hwang과 Kang (2000)은 구개열 아동 3명을 대상으로 비음측정기에 의한 시각적 피드백 프로그램을 주 4회 실시하였으며 그 결과 대상 아동 모두 약 13~15%의 과대비성이 감소한 것으로 나타났다. 이는 본 연구의 결과와 일치하는 것이다. Yang과 Choi(2005)는 과대비성과 비강 누출에 의한 조음 명료도의 저하를 지닌 4세 아동을 대상으로 9개월 간 바이오피드백 기법을 적용한 결과, 고모음 /i/와 /u/에서 비성강도가 저하된 결과를 얻었다. Kuehn 등(2002)은 43명의 구개열 환자를 대상으로 주 6일씩 총 9주 동안 CPAP를 이용한 바이오 피드백 치료 결과, CPAP 치료 전에 비해 비성도의 증가를 보인 8명의 환자를 제외하고 대부분의 환자에서 비성도가 감소한 결과를 얻었으며 나이와 성별에서의 유의성은 없었다고 하였다. 수정된 CPAP 치료 프로그램을 취학 전 구순·구개열 아동에게 적용 시 단모음 유형별 과대비성의 개선 정도를 살펴본 결과, 단모음 /a/와 /i/사이에는 유의한 차이를 보이지 않았으며 두 단모음 모두 치료 초기에 급격한 비성도의 감소를 보였다고 하였다(Jo et al., 2007). 선행 연구를 통해 구개열 환자를 대상으로 한 바이오피드백의 효과성을 확인할 수 있으며 본 연구에서 실시한 시각적 피드백 훈련의 경우, 주 3회씩 총 3주간의 과정으로 선행 연구들보다 비교적 훈련기간이 짧았음에도 비성도 감소 효과의 결과는 일치하였다.

본 연구는 기존의 음향학적 비음측정기의 측정 단위(%)와 다르게 진동의 강도(dB)를 이용하여 비음의 정도를 측정하였다는 점에서 새로운 시도가 될 수 있으며 기존 음향학적 비음측정기에서 구비강 분리판을 사용하는 데 있어 발화과제 수행 시 분리판이 움직일 경우, 결과 값에 영향을 미칠 수 있다는 제한점을 개선하였다. 또한 헤드셋 장치를 사용하지 않아도 되기에 더욱 비침습적이며 사용의 편리성을 더할 수 있었다. 기존의 음향학적 장치에서 문제 제기되는 사용자의 머리 크기에 따른 헤드셋 유격 발생의 단점과 무거운 헤드셋을 착용하는 과정에서 불편함이 있다는 점을 개선시켰다. 더불어 미세진동 센서 판의 가격이 저렴하여 고가의 장비가 아니기에 상용화가 된다면 가정에서도 쉽게 사용할 수 있도록 기대해 볼 수 있다. PC나 태블릿으로 간편하게 연결하여 사용할 수 있기에 휴대의 편리성도 보장할 수 있었다. 소프트웨어에 포함 된

훈련 프로그램은 애니메이션을 기반으로 하여 치료의 흥미와 동기 부여를 더할 수 있었으며 시각적 피드백을 이용하여 치료의 효과를 즉각적으로 강화할 수 있었다.

후후 연구에서 다음과 같은 내용을 제안하고자 한다.

첫째, 본 연구는 과대비성 아동의 대상자의 수가 적으므로 이 연구를 일반화시켜 해석하는 데 어려움이 있다. 후속 연구에서는 많은 대상자를 통해 연령, 성별, 수술 여부 등의 다양한 변인을 설정하여 이에 대한 연구를 이어나갈 필요성이 있다.

둘째, 과대비성을 나타내는 장애 유형으로 구개열 뿐만 아니라 신경학적 장애로 인한 뇌성마비나 마비말장애, 청각장애, 잘못된 학습으로 인한 공명장애 등 다양한 원인으로 과대비성을 초래할 수 있다. 다양한 유형에 따른 비성도에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

셋째, 후후 연구에서 다양한 피드백을 줄 수 있는 게임 형태의 소프트웨어가 개발된다면 아동의 동기부여를 높일 수 있고 몰입감 있는 치료가 가능할 것으로 기대된다.

넷째, 본 연구기기를 가정에서 활용한다면 아동 스스로 과제를 해결하기가 어렵고, 보호자들의 경우에도 소프트웨어들에 대한 적절한 교육 및 지침 안내가 필요할 것이다. 이러한 조치는 비대면 치료를 활성화하여 치료의 접근성을 더욱 용이하게 할 것으로 판단된다.

최근에는 IoT, 인공지능, 메타버스 등의 발전으로 시간과 공간적 제약을 극복하여 더욱 비대면 재활의 중요성이 강조될 것으로 보여진다. 따라서 현 기술의 발전은 대면과 비대면 치료를 병행할 수 있는 적절한 대안이 될 수 있을 것이다.

Reference

- Arnold E. Aronson (2019). *Clinical voice disorders* (2nd revised ed.). New York: Thieme.
- Choi, H. S., Park, Y. J., & Kim, K. M. (1995). Development of objective nasometer using a vibratory sensor and its clinical application. *Journal of the Korean Society of Laryngology*, 4(1), 46-55.
- Hong, K. H. (1995). Aerodynamics of speech using aerophone II. *Proceedings of the 4th Conference on the Korean Society of Laryngology, Phoniatrics and Logopedics*, 165-180.
- Hwang, H. J., & Kang, S. K. (2000). The effects of visual biofeedback by a nasometer on the hypernasality improvement of cleft palate and lip children. *Journal of Speech-Language & Hearing Disorders*, 4(1), 123-138.
- Jo, S. M., Jeong, O., & Han, K. H. (2007). The effects of CPAP therapy program on hypernasality in preschool children with cleft lips and palates. *Korean Journal of Speech Science*, 14(4), 261-272. doi:10.15724/jslhd.2019.28.4.049
- Kim, H. G. (2000). Objective evaluation and therapy of speech in children with cleft palate. *Korean Journal of Communication Disorders*, 4(2), 106-120. uci:G704-000725.2015.20.1.003

- Kim, M., Sim, H. S., & Choi, H. S. (2000). The effects of phonetic context and stimulus length on the nasalance score in normal adults. *Korean Journal of Communication Disorders*, 5(2), 91-105.
- Kuehn, D. P. (1979). Velopharyngeal anatomy and physiology. *Ear, Nose, & Throat Journal*, 58(7), 316-321.
- Kuehn, D. P., Imrey, P. B., Tomes, L., Jones, D. L., O'Gara, M. M., Seaver, E. J., . . . Wachtel, J. M. (2002). Efficacy of continuous positive airway pressure for treatment of hypernasality. *The Cleft Palate Craniofacial Journal*, 39(3), 267-276. doi:10.1597/1545-1569_2002_039_0267_eocpap_2.0.co_2
- Lee, M. S. (2016). *Development and clinical utility of the portable nasometry* (Master's thesis). Daegu University, Gyeongbuk.
- Lim, S. E., & Sim, H. S. (2000). Correlation between nasalance and nasality for hypernasality. *Korean Journal of Communication Disorders*, 5(1), 209-218. doi:10.1016/0021-9924(93)90013-Z
- Willging, J. P. (2003). Velopharyngeal insufficiency. *Current opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*, 11(6), 452-455. doi:10.1097/00020840-200312000-00008
- Yang, J. H., & Choi, J. Y. (2005). Speech treatment of velopharyngeal insufficiency using biofeedback technique with NM II: A case report. *Korean Journal of Cleft Lip and Palate*, 8(1), 45-52.

미세진동 센서를 이용한 비성강도 평가 및 훈련 프로그램의 개발과 적용

이미소¹, 김화수^{2*}

¹ 미소아동발달센터 센터장

² 대구대학교 언어치료학과 교수

목적: 이 연구는 미세진동 센서를 이용한 비강공명 장치를 개발하여 비음측정기로의 임상적 의의를 알아보고, 기기 내 탑재된 비성도 감소 훈련 프로그램을 과대비성 환자에게 적용하여 치료 효과를 알아보고자 하였다.

방법: 본 연구에서는 진동 센서를 이용한 비음측정기를 개발하였다. 정상 성인 여성 30명을 대상으로 기존의 휴대용 비음측정기와 진동 센서를 이용한 비음측정기 간 비성도를 비교 분석하여 상관관계를 확인하였다. 또한 일반 아동 7명과 구개열로 인한 연인두 기능부전(VPI) 아동 7명의 비성강도를 비교하여 진동 센서를 이용한 비음측정기의 임상적 유용성을 확인하였다. 이후 구개열 아동 7명에 대해서는 비성도 훈련 프로그램을 실시하여 프로그램의 효과성을 검증하였다.

결과: 일반 아동을 대상으로 진동 센서 비음측정기와 음향학적 비음측정기 간 발화과제에 따른 비성강도값을 측정된 결과, 모음 /아/, /우/, /이/, 엄마문장, 아빠문장 모두에서 매우 강한 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 또한 모음 /아/, /우/, /이/, 아빠문장에서 구개열 아동의 비성강도가 유의하게 더 높았다. 결과적으로 이 장치는 과대비성을 변별할 수 있는 평가도구로 그 유용성을 확인하였다. 구개열 아동을 대상으로 시각적 피드백을 활용한 과대비성 감소 훈련을 실시한 결과, 유의한 비성강도 감소가 나타났다.

결론: 본 연구는 기존의 음향학적 비음측정기의 측정 단위(%)와 다르게 진동의 강도(dB)를 이용하여 비성의 정도를 측정하였다는 점에서 새로운 시도가 될 수 있으며 낮은 비용으로 생산할 수 있고 휴대가 편리하기 때문에 효과적인 임상적 장치라 할 수 있겠다. 상용화가 된다면 가정에서도 쉽게 사용할 수 있어 높은 치료 효과를 기대할 수 있을 것이다.

검색어: 비음측정기, 구개열, 과대비성

교신저자: 김화수(대구대학교)

전자메일: whasoolang@hanmail.net

게재신청일: 2023. 09. 15

수정제출일: 2024. 01. 04

게재확정일: 2024. 01. 31

이 논문은 이미소(2022)의 박사학위 논문을 수정
· 보완하여 작성한 것임.

ORCID

이미소

<https://orcid.org/0009-0000-9706-8607>

김화수

<https://orcid.org/0000-0003-4787-4824>

참고 문헌

- 김민정, 심현섭, 최홍식 (2000). 음순환경과 검사어 길이가 정상성인의 비음치에 미치는 영향. *언어청각장애연구*, 5(2), 91-105.
- 김현기 (2000). 구개열아동 말의 객관적 평가 및 치료방법. *언어청각장애연구*, 5(2), 106-120.
- 양지형, 최진영 (2005). Nasometer 활용 바이오피드백 기법을 이용한 비인강폐쇄전환자의 치험 사례. *대한구순구개열학회지*, 8(1), 45-52.
- 이미소 (2016). *휴대용 비음측정기의 개발 및 임상적 유용성*. 대구대학교 재활과학대학원 석사학위 논문.
- 임성은, 심현섭 (2000). 과대비성에 대한 비음도와 비음치의 상관관계. *언어청각장애연구*, 5(1), 209-218.
- 조성미, 정옥란, 한기환 (2007). CPAP(Continuous Positive Airway Pressure) 치료 프로그램이 취학 전 구순·구개열 아동의 과대비성 개선에 미치는 효과. *음성과학*, 14(4), 261-272.
- 최홍식, 박용재, 김광문 (1995). 진동 센서를 이용한 객관적 비강공명 측정 장치의 개발 및 그 임상적 이용. *대한음성언어의학회지*, 6(1), 46-55.
- 홍기환 (1995). Aerophone II 를 이용한 조음적 공기역학검사. *제4회 대한음성언어의학회 학술대회 심포지움 및 워크샵 논문집*, 165-180.
- 황희정, 강수균 (2000). 시각적 피드백 제공에 의한 비강 공명 개선 프로그램이 구개파열 아동의 과대비성 개선에 미치는 효과. *언어치료연구*, 9(1), 123-138.