

Development of Personalized Respiratory Training Device with Real-time Feedback for Respiratory Muscle Strengthening

Merve Nur Uygun^a, Yeong-geol Bae^b, Yejin Choi^b and Dae-Sung Park^{a*}

^aAI Control, Daejeon, Republic of Korea

^bDepartment of Physical Therapy, Konyang University, Daejeon, Republic of Korea

Objective: The practice of breathing exercises involves altering the depth and frequency of respiration. Strengthening respiratory muscles plays a crucial role in maintaining overall health and well-being. The efficiency of the respiratory system affects not only physical activity but also various physiological processes including cardiovascular health, lung function, and cognitive abilities. The study evaluated the reliability of the developed device for inspiratory/expiratory training using pressure sensors and Bluetooth connectivity with a smartphone application.

Design: Design & development research

Methods: The research methodology involved connecting a custom-made respiratory sensor to an IMT-PEP BIC Breath device. Various pressure conditions were measured, and statistical analyses were performed to assess reliability and consistency. Results showed high Intraclass Coefficient Correlation (ICC) values for both inspiratory and expiratory pressures, indicating strong test-retest reliability. The device was designed for ease of use and wireless monitoring through a smartphone app.

Results: This study conducted at expiratory pressure confirmed the proper operation of the IMT/PEP breathing trainer at the specified pressure setting in the product. The pressure sensor demonstrated high test-retest reliability with an ICC value of 0.999 for both expiratory and inspiratory pressure measurements.

Conclusions: The developed respiratory training device measured and monitored inspiratory and expiratory pressures, demonstrating its reliability for respiratory training. The system could be utilized to record training frequency and intensity, providing potential benefits for patients requiring respiratory interventions. Further research is needed to assess the full potential of the device in diverse populations and applications.

Key Words: Positive expiratory pressure, Inspiratory muscle training (IMT), Breathing exercises

서론

호흡운동(breathing exercises)은 호흡의 깊이와 빈도를 변화시켜 수행하는 운동이다. 호흡근 강화는 전반적인 건강과 웰빙을 유지하는 데 중요한 역할을 한다. 호흡 체계의 효율성은 신체 활동뿐만 아니라 심혈관 건강, 폐 기능 및 인지 기능을 포함한 다양한 생리적 과정에 영향을 미친다 [1] [2] [3]에 따라 호흡근 강화를 위한 효과적인 방법을 개발하는 데 대한 관심이 증가하고 있다.

폐섬유증(cystic fibrosis) 환자에서 기도청결방법으로 Positive expiratory Pressure (PEP)는 기도(airway)에 압

력(back pressure)를 발생시켜 일시적으로 폐의 잔존용량(functional residual capacity)를 증가시켜 점액이 배출되는 것을 돕는 것으로 알려져 있다. PEP를 이용한 호흡훈련은 Forced expiratory volume at 1 second (FEV1)의 유의한 증가가 있었다 [4]. COPD 환자에서 하루 4시간 가량 사용을 한 PEP 운동은 대조군에 비해 6분보행검사에서 71.67±8.70 m의 유의한 향상이 있었으며, 부작용은 보고되지 않았다. 호흡훈련장비를 이용한 호흡근 훈련 방법은 마우스피스를 통해 저항의 압력을 조절하면서 흡기 또는 호기훈련을 실시한다 [5]. 하지만, 호흡훈련의 특성상 대상자가 쉽게 피로하며, 사용

Received: Aug 28, 2023 Revised: Sep 14, 2023 Accepted: Sep 14, 2023

Corresponding author: Dae-Sung Park (ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4258-0878>)

Department of Physical Therapy, Konyang University 158, Gwanjeodong-ro, Seo-gu, Daejeon, Republic of KOREA (35365)

Tel: +82-42-600-6419 Mobile:***-****-**** E-mail: daeric@konyang.ac.kr

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.

Copyright © 2023 Korean Academy of Physical Therapy Rehabilitation Science

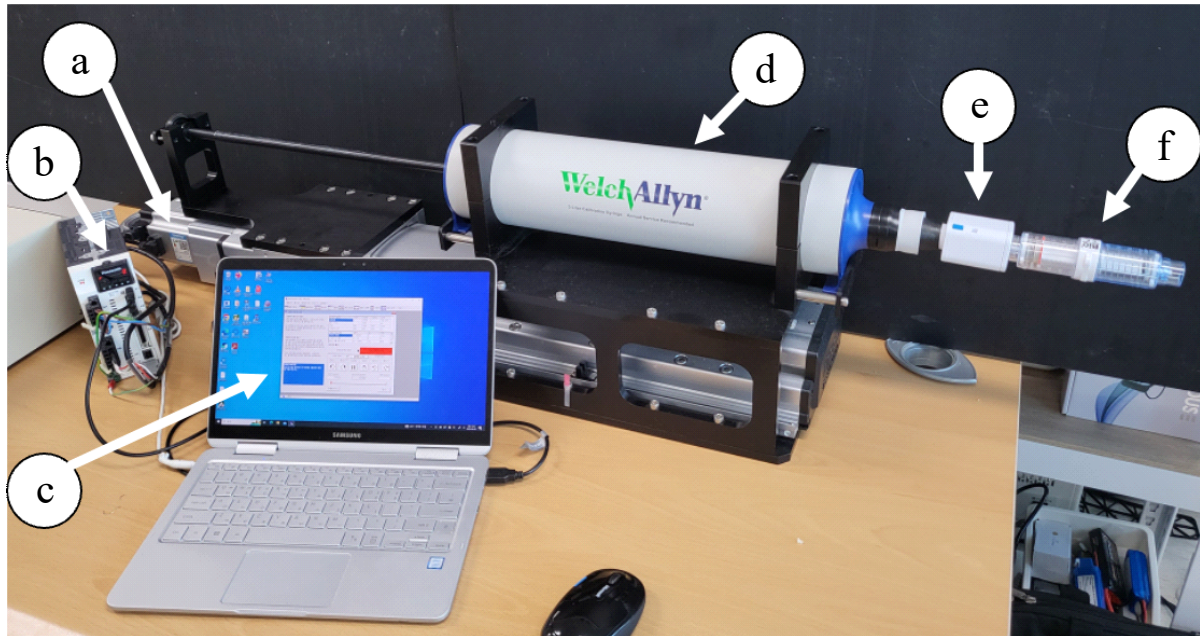


Figure 1. The experimental setup to test the breathing device (left) and application (right) (a: linear actuator, b: driver, c: actuator control software, d: 3L calibration cylinder, e: breathing device, f: IMT-PEP device)

자에게 실시간 피드백을 제공하는 기능이 부족한 경우가 많다 [5].

최근 기술의 발전은 사용자에게 즉각적이고 피드백을 제공하는 맞춤형 훈련 솔루션을 제공하는 제품들이 개발되고 있다 [6] [7]. 이러한 기술을 호흡 훈련에 통합함으로써, 디지털 도구를 활용하여 피트니스 루틴과 신체적 건강을 최적화하는데 도움을 주고 있다 [8].

Expiratory muscle training (EMT)는 최대 날숨증가와 운동역량 향상, 무호흡의 감소에 효과적으로 사용되고 있다 [9]. 하지만, 호흡재활에서 중도포기율은 매우 높다. 이러한 이유로는 [10] PC에 기반한 아두이노 센서를 활용해서 날숨훈련게임을 개발하였다. 지속적인 호흡훈련을 위해 게임에 기반한 바이오피드백 호흡훈련 장치들이 최근 IoT기술의 발달에 따라 개발되어 활용되고 있다 [8]. 가상현실기술을 활용한 방법에서도 호흡훈련을 위한 방법을 활용하고 있다 [10].

본 논문에서 호흡 훈련 장비는 개인들이 스마트폰과 연동하여 실시간으로 피드백과 훈련정도를 모니터링 하면서 호흡근 강화를 증진시키는데 도움을 주기 위하여 줄 수 있도록 개발되었다. 본 연구의 목적은 호흡훈련을 위한 흡기호기 센싱이 가능한 개인용 스마트 호흡훈련 장비를 개발하고, 호흡훈련 기기로의 개발에 대한 유효성을 평가하기 위해 실시되었다.

연구 방법

IMT-PEP BIC Breath (IMT-PEP, GH Inotech Co., Ltd., Korea) 흡기압 호기압 호흡훈련기에 본 연구에서 제작한 호흡센서(Hoohoo-P, AIcontrol, Korea)를 연결하고, 3 L 캘리브레이션 시린지(Calibration syringe, Welch Allyn, USA)를 이용하여 5회 반복측정하였다 <Figure 1>. IMT-PEP의 최대 호기압과 최대 흡기압은 20 cm H₂O, 40 cm H₂O 이다. 캘리브레이션 시린지의 제품규격은 속도 범위가 0.5~12 L/s, 유량 정확도는 ± 3.5%, 피스톤의 직경은 1.5 inch 이다. 캘리브레이션 시린지의 속도를 일정하게 조절하기 위해 전동시물레이터를 제작하였다. 시물레이터에는 750 W 리니어 스마트 액츄에이터(PSA16510-500S+3SR, i-ROBO, Korea)를 사용하였고, 속도제어 프로그램(Panaterm Ver.6.0, Panasonic Ind., Japan)을 사용하였다. 액츄에이터에 의한 직선 운동길이는 38 cm로 설정하였고, 속도는 100 mm/s로 동일한 조건에서 측정하였다. 측정조건은 IMT-PEP 호흡훈련기에 표시된 압력 눈금을 사용하여 호기 4개 조건, 흡기 4개 조건에서 실시하였다. 호기 조건은 PEP 압력이 0 cmH₂O인 상태에서 IMT 압력이 10, 20, 30, 40 cmH₂O 일 때 4개의 조건과 흡기 조건은 IMT압력이 0 cmH₂O 인 상태에서 PEP 압력이 5, 10, 15, 20 cmH₂O 일 때 4개 조건에서 실시하였다.

호흡훈련기의 구성은 압력센서, 블루투스, 프로세서로

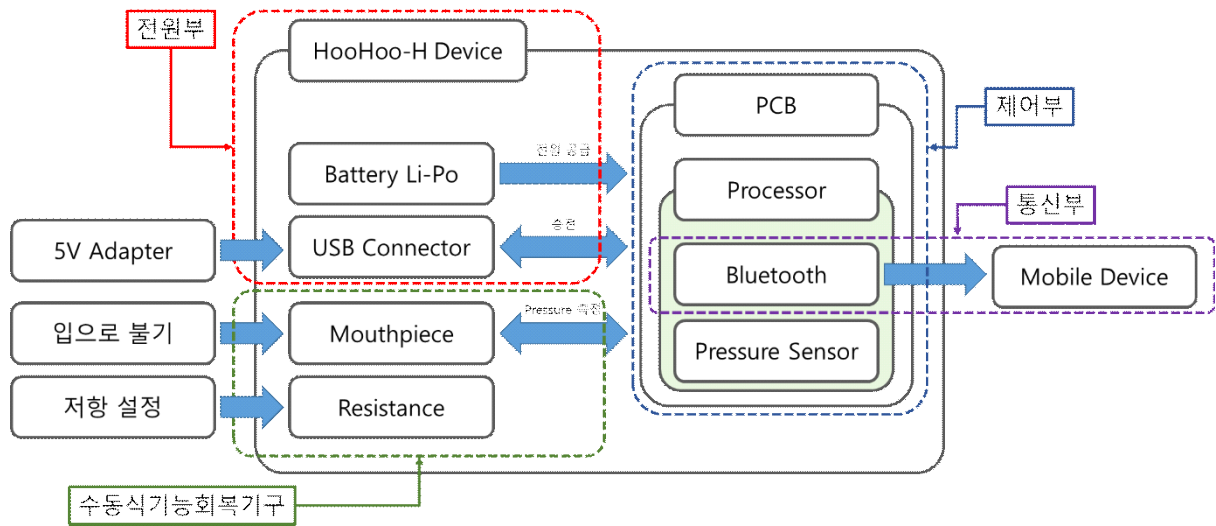


Figure 2. Device wiring diagram

구성된 PCB와 배터리, USB연결단자로 구성되어 있다. 프로세서는 MDBT42 모듈을 사용하였다 <Figure 2>. 이 모듈은 32-bit ARM® Cortex™ M4F CPU를 기반으로 BLE (Bluetooth low energy)를 지원하는 nrf52832 SoC로 구성되어있다. 배터리는 3.7 V, 500 mAh Li-Po 배터리를 사용하였으며 충전 단자는 5 V USB C-type 을 적용하였다. 압력센서는 Bosch사의 bme688 모델을 사용하였다. 이 센서는 I²C, SPI 통신을 지원하며 압력, 온도, 습도 측정 및 설정에 따라 공기질 데이터를 출력할 수도 있다. 센서에서의 측정값(hpa)을 cmH₂O값으로 환산하기 위해 hpa측정값에 1.019를 곱하여 변환하였

다. 본 훈련기의 회로에서는 I²C 통신을 통해 압력 데이터를 MDBT 모듈에 송신하여 호흡압을 측정하는 방법으로 적용되었다. 호흡훈련기의 외관은 전원스위치, 훈련기의 상태를 나타내는 LED 표시부, 사용자의 입으로 불 때 사용되는 마우스피스 연결부, 수동식 기능회복기구를 연결하는 연결부로 구성되어 있다 <Figure 3>. 호흡훈련기는 스마트기기의 앱과 연동하여 사용된다. 앱은 사용자의 정보를 입력하는 사용자 등록 기능, 실시간으로 현재 압의 데이터를 보여주는 차트(그래프) 기능, 훈련을 종료한 후 결과를 보여주는 결과지 기능, 지난 훈련 데이터를 불러올 수 있는 로그기능 등을 포함하고

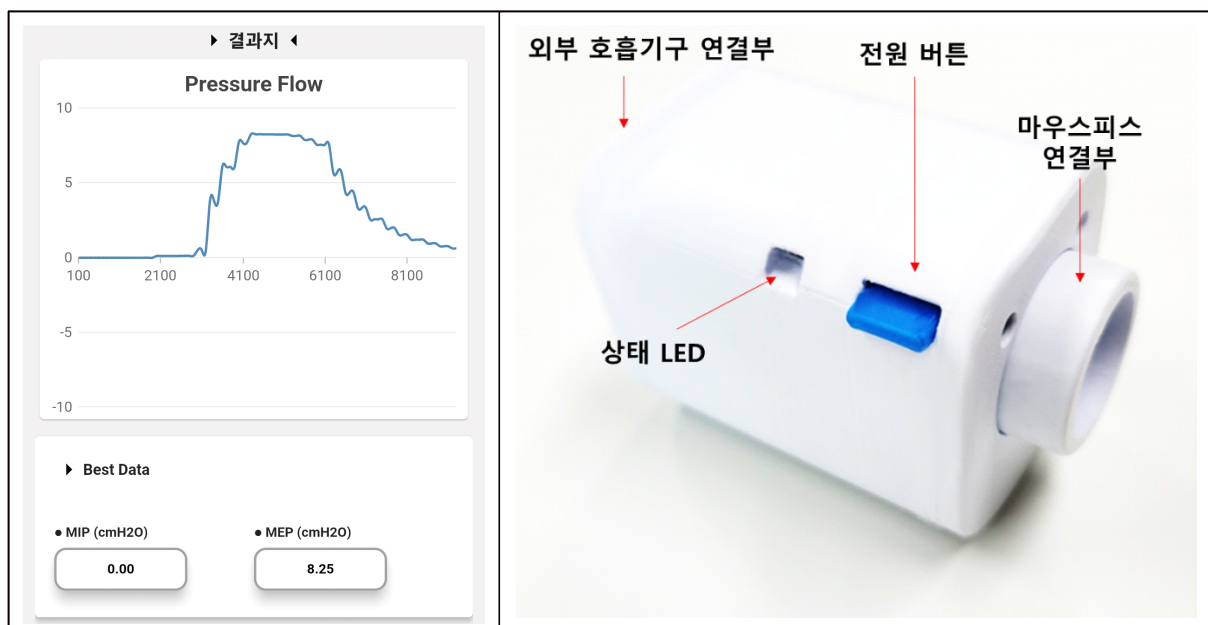


Figure 3. Parts of the device and result screen

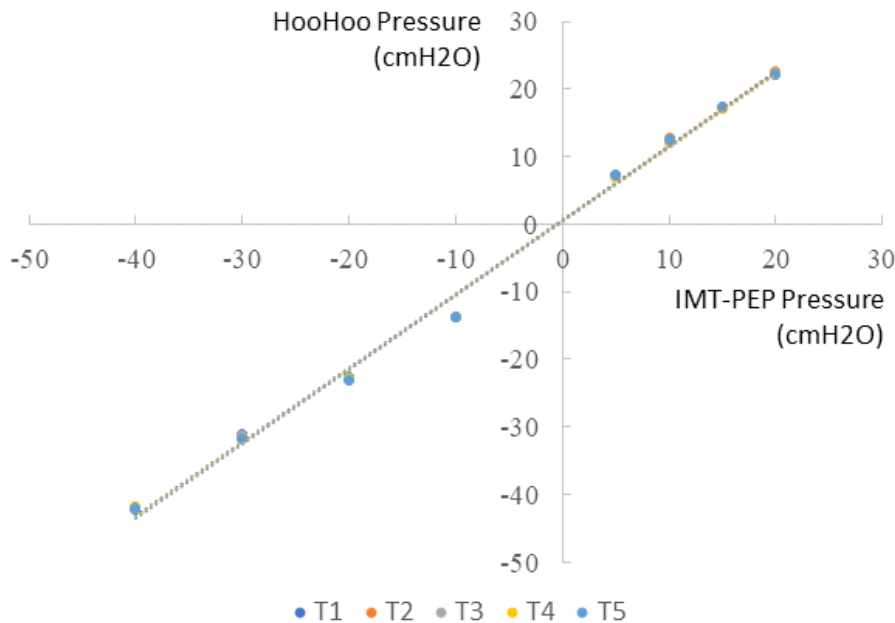


Figure 4. Trend line comparison between set pressure by IMT-PEP and measured pressure by Breathing device (T1~5 : Test Trial 1~5)

있다. 훈련기의 한쪽에는 마우스피스를 연결하고, 다른 한쪽에는 수동식 기능회복 기구인 IMP-PEP를 연결하였다. IMP-PEP는 스프링 방식을 이용하여 흡기와 호기시에 카테터를 차폐하고 있는 막과 탄성스프링에 의해 설정한 압력에서 열리도록 설계되어 있다.

데이터는 블루투스를 이용하여 안드로이드 휴대폰과 연결된 어플리케이션(HooHoo ver1.0, AI control, Korea)을 통해 수집되며, 앱에서 CSV파일로 저장 후 엑셀 프로그램을 이용하여 측정된 호기시 최대값, 흡기시 최소값을 분석하였다 <Figure 4>.

통계분석

본 연구에서는 호기압 4개 조건(5, 10, 15, 20 cmH2O)와 흡기압(-10, -20, -30, -40 cmH2O) 4개 조건에서 각각 액츄에이터에 의해 3 L 캘리브레이션 시린지를 동일한 속도로 5회 작동시켰을 때 측정된 데이터를 사용하여 데이터를 분석하였다. 제품에 대한 검사-재검사 신뢰도를 분석하기 위해 호기압과 흡기압에서 4개 조건에서 5회 반복된 데이터를 이용하여 급내상관계수(ICC, Intraclass coefficient correlation)을 분석하였다. 신뢰수준은 $ICC > 0.90$ 이상인 경우 매우 높음으로 설정하였다. 측정오차의 정량화를 위해 표준 오차 측정(Standard error of means; SEM)을 $SD \cdot \sqrt{(1-ICC)}$ 로 계산하였다.

통계분석은 SPSS 소프트웨어(SPSS ver 22.0, IBM inc, USA)를 이용하였다. 유의수준(α)은 0.05로 하였다.

연구 결과

IMT 측정조건 4개와 PEP 측정조건 4개 총 8개 조건에서 각 5회 측정하였을 때, 센서에서 측정된 값은 <Table 1> 과 같았다. 호기압에서 본 연구를 통해 첫째, IMT/PEP호흡훈련기는 제품에 설정된 압력의 수치가 정확하게 작동되고 있음을 확인하였다. 둘째, 압력센서는 호기압과 흡기압 모두에서 $ICC=0.999$ 의 높은 검사-재검사 신뢰도를 보였다<Figure 5><Figure 6>. 셋째, 데이터의 오차범위를 알 수 있는 SEM의 경우 0.030~0.135의 범위를 보였고, 표준편차를 SEM으로 나눈 값은 44.7% 일관성 있는 오차범위를 보여주었다.

고찰

본 연구에서는 호흡훈련을 실시할 때 압력센서를 이용하여 실시간 피드백과 훈련의 빈도를 블루투스를 이용하여 무선으로 스마트폰과 연동하여 모니터링 할 수 있도록 개발하였다. 입구부의 크기는 대상자가 사용하는 호흡훈련기구와 연결하여 사용할 수 있도록 커넥터

Table 1. The reliability and the results of pressure values

IMT-PEP Pressure	Breathing device pressure (cmH2O)					Mean	SD	SEM	SEM/SD	ICC	
	T1	T2	T3	T4	T5						
PEP	05	6.94	7.35	7.35	7.06	7.29	7.20	0.19	0.084	0.447	0.999
	10	12.54	12.65	12.11	12.2	12.57	12.41	0.24	0.108	0.447	
	15	17.42	17.36	17.14	17.12	17.33	17.27	0.14	0.061	0.447	
	20	22.36	22.61	22.25	22.13	22.16	22.30	0.19	0.087	0.447	
IMT	10	-13.74	-13.73	-13.69	-13.83	-13.65	-13.73	0.07	0.030	0.447	0.999
	20	-22.74	-22.78	-22.75	-22.79	-23.03	-22.82	0.12	0.054	0.447	
	30	-30.98	-31.37	-31.31	-31.72	-31.68	-31.41	0.30	0.135	0.447	
	40	-41.86	-41.89	-42.33	-41.87	-42.09	-42.01	0.20	0.091	0.447	

T: Trial, SD: standard deviation, SEM: standard error of mean, ICC: intraclass coefficient correlation, PEP: positive expiration pressure, IMT: inspiratory muscle training

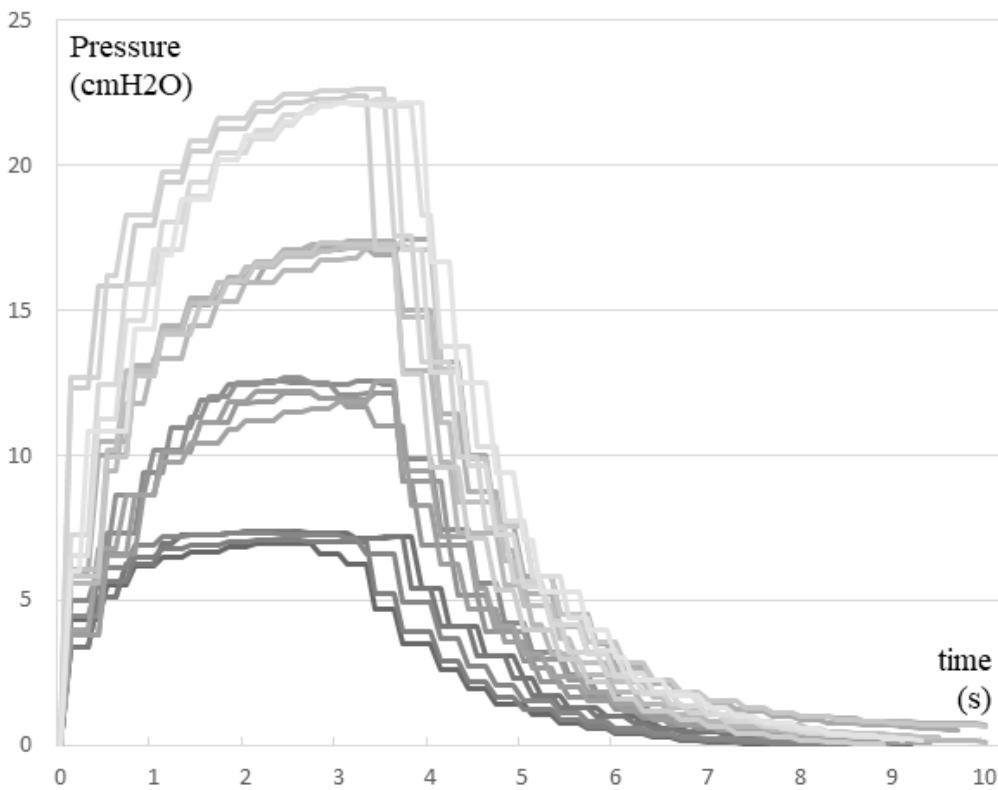


Figure 5. Changes in pressure measured five times repeatedly in four positive exhale pressure from a respiration device using a linear actuator

를 조절할 수 있도록 제작하였다. 센서에서 신뢰도 있는 측정이 이루어지는 지 확인하기 위한 방법으로 리니어 액츄에이터에 3L 캘리브레이션 실린더를 연결하여 균일한 속도로 캘리브레이션 실린더가 움직이도록 하였다. 그 결과 측정의 신뢰도 ICC는 호기압과 흡기압에서 모

두 ICC=0.999로 나타났다.

호흡훈련은 천식(asthma)감소 [11], 혈압의 변화 [12], 통증감소, 요가 운동 동안의 호흡조절방법 등 다양한 목적으로 사용되고 있다. 수면무호흡증(Obstructive sleep apnea)는 상부 기도의 부분적 혹은 완전한 폐쇄로 인해

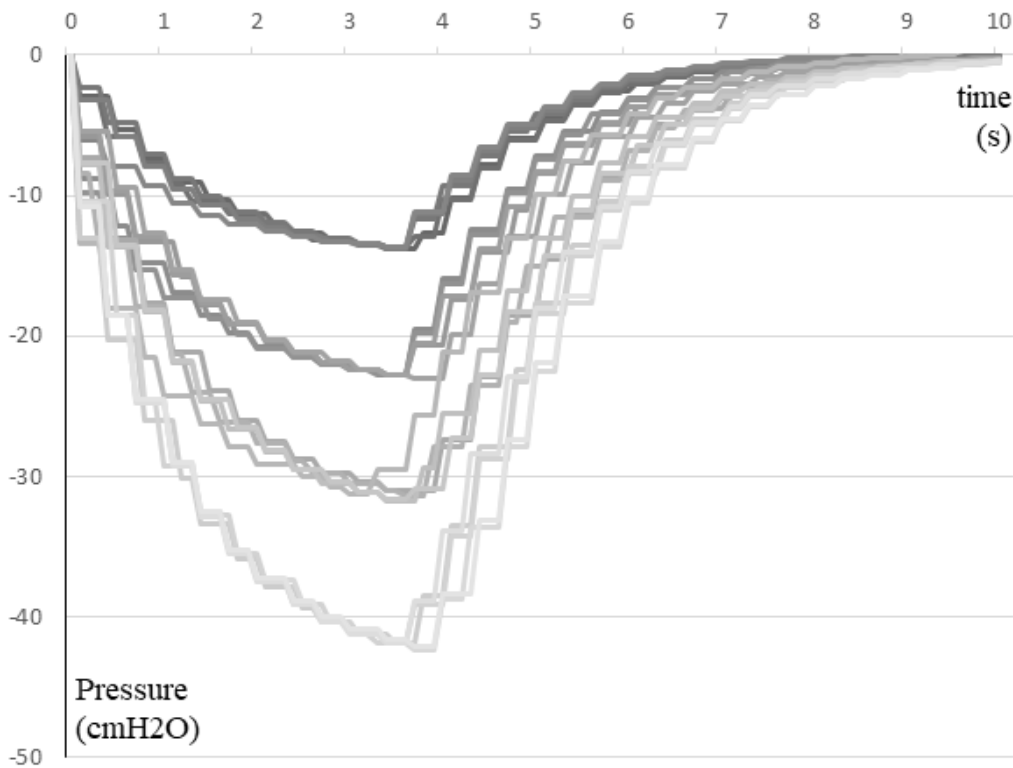


Figure 6. Changes in pressure measured five times repeatedly in four negative inhale pressure from a respiration device using a linear actuator

수면동안 호흡의 중간이 반복적으로 일어나는 질환이다. 중등도나 중증의 수면무호흡증에 대한 IMT 는 효과적인 치료방법으로 고려되고 있다 [13]. 기도청결기법의 하나이면서 폐기능을 향상시킬 목적으로 PEP 기구를 이용하여 폐질환 환자의 중재방법으로 사용되고 있으나 FEV1의 유의한 향상이 있었던 연구도 있었으나 대조군에 비해 유의한 향상이 없었던 연구도 보고되고 있어 추가적인 연구가 필요하다고 하였다 [4]. 이러한 중재연구의 결과가 다르게 나타나는 것은 호흡훈련이 지속적으로 이루어지기 어렵고 스스로 꾸준히 훈련하는 것이 어렵기 때문이다. 또한 훈련의 실시여부를 의료진이 알기 어려워 환자의 호흡중재가 충분히 이루어지고 있는지 알 수 없었다. 이러한 이유들로 인해 중재연구의 결과가 유의하게 나타나지 않았을 가능성도 있다.

IMT 심장호흡계질환이 있는 환자뿐만 아니라 건강한 대상자에서도 호흡근 강화로 사용되고 있다 [14]. IMT 훈련 강도는 주2회에서 주4회의 주기로 일반적으로 실시한다. 고혈압환자(pulmonary hypertension)에서 IMT 훈련은 폐기능(FVC), 흡기압(MIP), 호기압(MEP)의 증가와 횡경막의 두께증가, 혈압의 감소에 유의한 개선이 있었다. 20-40세까지의 앓아 있는 시간이 많은 성인을

대상으로 4주간 매일 실시한 IMT 효과를 측정하였을 때, maximum inspiratory pressure (MIP)와 폐활량(FVC, FEV1, PEF)의 유의한 향상이 있었다 [15]. COVID 환자에서 12주간 IMT훈련시 유산소운동능력의 향상과 삶의 질의 향상이 있었다 [16]. BMI 23~29 사이의 과체중이 있는 60명의 20-40세 사이의 대상으로 6주간 주5회 PImax의 40% 강도로 IMT훈련을 하였을 때 6분 보행거리, PImax의 유의한 향상이 있었다. 호흡과 유산소 운동을 통해 내장지방의 감소에 영향을 줄 수 있으며 유산소 운동시 IMT 훈련을 동시에 실시하는 것은 호흡근을 강화하는데 도움을 줄 수 있다 [17].

최근 호흡훈련을 위한 헬스케어 장비들이 개발되고 있다. BreatheBuddy는 정신건강을 위해 스트레스 감소를 목적으로 만들어진 실시간 피드백이 가능한 호흡훈련기구로 호흡주기, 호흡수 등을 모니터링 하는 기구이다 [18]. Bubble Breather는 Pneumonia 환자의 재활을 위해 고안된 호흡훈련 게임도구로 Positive Expiratory Pressure (PEP) 도구와 연동하여 사용할 수 있도록 고안되었다 [19]. 25명의 hemodialysis 가 있는 대상자에게 심호흡훈련과 무호흡증 개선을 위해 호흡훈련기구를 개발하고 MIP의 40% 정도의 강도로 주 3회 훈련을 8주

간 실시하였을 때, 호흡근력과 기능에 유의한 향상이 있었다 [20]. 오디오 피드백과 시각적 피드백을 이용한 호흡 어플리케이션을 개발하고, 깊고 느린 호흡을 유도하는 어플리케이션에서 시각적 피드백의 형태를 웨이브 타입, 원형타입, 음성만 주었을 때 중에서 웨이브 타입이 심박과 호흡변화에 가장 큰 변화를 유도할 수 있었다고 하였다 [21]. 본 연구에서 호기압과 흡기압은 압력 센서와 블루투스로 연결된 안드로이드 스마트폰에서 실시간으로 호기압과 흡기압을 측정할 수 있도록 하였다. 다른 장비들과 비교하여 본 장비의 장점은 기존에 흡기압, 호기압 호흡훈련을 하는 대부분의 장비와 연동하여 사용이 가능한 점이다. 센서의 외부호흡기 연결부에 기존 사용을 하고 있는 센서가 없는 제품과 연동하여 훈련기록과 피드백구현이 가능하다. 본 연구에서 기술하지 않았으나 어플리케이션에서 훈련모드에서는 실시간으로 호흡의 주기를 유도하고, 분당 호흡수와 호흡의 깊이를 실시간으로 피드백하고 깊고 느린 호흡을 유도하도록 제작되어 있다 [22].

본 연구의 제한점으로는 첫째, 어플리케이션은 안드로이드에서만 가능하다. 이것은 추후 개발이 필요하다. 둘째, 사람을 대상으로 호흡훈련중재가 필요한 대상에게 훈련을 실시하고, 유효성을 추가적으로 연구할 필요가 있다.

결론

본 연구를 통해 호흡의 호기와 흡기를 측정하고 모니터링 하기 위해 개발된 호흡훈련기를 이용하여 압력을 측정하였을 때, 설정된 압력의 값을 신뢰도 있게 측정하며, 환자의 호흡 훈련 빈도와 강도를 기록하는데 적절하다고 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 보건복지부 국립재활원 재활연구개발용역사업(R&D) 2022년도 재활연구개발지원용역 #NRCRSP-EX21017 호흡재활 기기의 기술 고도화 연구로 수행된 연구임.

참고문헌

- Lee SH, Park DS, Song CH. The Effect of Deep and Slow Breathing on Retention and Cognitive Function in the Elderly Population. *Healthcare*, 2023;11;896.
- Prem V, Sahoo R C, Adhikari P. Effect of diaphragmatic breathing exercise on quality of life in subjects with asthma: A systematic review. *Physiother Theory Pract*. 2013;29:271-277.
- Ubolnuar N, Tantisuwat A, Thaveeratitham P, Lertmaharit S, Kruapanich C, Mathiyakom W. Effects of Breathing Exercises in Patients With Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Systematic Review and Meta-Analysis. *Ann Rehabil Med* , 2019;43:509-523.
- McIlwaine M, Button B, Dwan K. Positive expiratory pressure physiotherapy for airway clearance in people with cystic fibrosis. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015;6:CD003147.
- Westerdahl E, Lindmark B, Eriksson T, Hedenstirna G, Tenling A. The immediate effects of deep breathing exercises on atelectasis and oxygenation after cardiac surgery. *Scandinavian Cardiovasc J*. 2003;37:363-367.
- Mitchell E, Coyle S, O'Connor N E, Diamond D, Ward T. Breathing Feedback System with Wearable Textile Sensors. *ACM Journal: BSN'10*. 2010;56-61.
- Ishii N, Tomita K, Kawamura K, Setaka Y, Yoshida R, Takashima R. Effects of breathing control using visual feedback of thoracoabdominal movement on aerobic exercise. *Respir Physiol Neurobio*. 2022;301:103887.
- Hernandez NG, Pepi M, Martinez FV, Vega VP. Usability and Effectiveness Evaluation of a Game-Based Biofeedback System to Strengthen Respiratory Muscles. *Int J of Human-Computer Interaction*, 2022.
- Brooks M, McLaughlin E, Shields N. Expiratory muscle strength training improves swallowing and respiratory outcomes in people with dysphagia: A systematic review. *Int J of Speech-Language Pathology*, 2019;21:89-100.
- Cam HK, Pardell DT, Bosch L S. Development of a Virtual Reality Tool for Respiratory Rehabilitation. *Universitat Politecnica*. 2020.
- Karam M, Kaur BP, Bapdist AP. A modified breathing exercise program for asthma is easy to perform and effective. *J Asthma*. 2017;54:217-222.
- Mourya M, Mahajan AS, Singh AP, Jain AK. Effect of Slow- and Fast-Breathing Exercises on Autonomic Functions in Patients with Essential Hypertension. *J Altern Complement Med*.

- 2009;15:711-717.
- 13 Dar JA, Mujaddadi A, Moiz JA. Effects of inspiratory muscle training in patients with obstructive sleep apnoea syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Sleep Sci.* 2022;15:480-489.
 - 14 Illi SK, Held U, Frank I, Spengler CM. Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals. *Sport Med.* 2012;42:707-724.
 - 15 Aktug ZB, Kurt S, Piskin NE, Yavuz G, Ibis S. Effect of Inspiratory Muscle Training with the Device on Respiratory Functions. *Mediterranean J Sport Sci.* 2022;5:571-581.
 - 16 Palau P, Domínguez E, Gonzalez C, Bondía E, Albiach C, Sastre C, et al. Effect of a home-based inspiratory muscle training programme on functional capacity in postdischarged patients with long COVID: the InsCOVID trial. *BMJ Open Resp Res.* 2022;9:e001255.
 - 17 Ponde K. Additional Effect of Inspiratory Muscle Training Along with Aerobic Exercises in Overweight and Obese Individuals. *Int J of Current Research and Review.* 2021;13:54-59.
 - 18 Rahman MM, Ahmed T, Ahmed MY, Dinh M, Nemati E, Kuang J, et al. BreatheBuddy: Tracking Real-time Breathing Exercises for Automated Biofeedback Using Commodity Earbuds. *ACM Journal,* 2022;6:1-18.
 - 19 Tabor A, Pradantyo R, Sadprasid B, Birk MV, Scheme E, Bateman S. Bubble Breather - A Breathing Exercise Game to Support Pneumonia Rehabilitation and Recovery. *CHI PLAY'20.* 2020:86-90.
 - 20 Yuenyouchiwat K, Thanawattano C, Charususin N, Buekban C, Pongpanit K, Hanmanop S, et al. Efficiency of the Respiratory Training Prototype for Application in Hemodialysis Patients: A Preliminary Study. *Philippine J Sci.* 2021;150:1225-1230.
 - 21 Chittaro L, Sioni R. Evaluating mobile apps for breathing training: The effectiveness of visualization. *Computers in Human Behavior.* 2014;40:56-63.
 - 22 Lee SH, Lee HJ, Park DS. Effects of deep and slow breathing on stress stimulation caused by high-intensity exercise in healthy adults. *Psychol Health Med.* 2021;26:1079-1090.