

Research Article

Open Access

복합호흡훈련프로그램이 파킨슨병환자의 호흡기능과 호흡근력에 미치는 영향

강동연[†]

가야대학교 스포츠재활복지학과

The Effect of a Complex Breathing Training Program on Pulmonary Function and Respiratory Muscle Strength in Patients with Parkinson's Disease

Dong-Yeon Kang, PT, PhD[†]

Department of Sports Rehabilitation Welfare, Kaya University

Received: April 7, 2025 / Revised: April 17, 2025 / Accepted: May 16, 2025

© 2025 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: This study sought to identify the effects of a complex breathing training program on pulmonary function and respiratory muscle strength in patients with mild-to-moderate Parkinson's disease (PD).

METHODS: Twenty-one subjects from the PD center at D Hospital in the Busan metropolitan area of the Republic of Korea volunteered to participate in the study. The clinical and demographic parameters, including age, sex, symptom duration, and the modified Hoehn and Yahr (H&Y) stage, were collected. The subjects had stage II or III PD, based on the modified H&Y staging. They were evaluated according to the movement disorder society sponsored version of the unified Parkinson's disease rating scale (MDS-UPDRS) and

given the following testing for pulmonary function: Forced vital capacity (FVC [L]), forced expiratory volume in one second (FEV₁ [L]), FEV₁/FVC (%), peak expiratory flow (PEF [L]), expiratory reserve volume (ERV [L]), maximal inspiratory pressure (MIP [cmH₂O]), and maximal expiratory pressure (MEP [cmH₂O]). Eleven participants (9 males and 2 females; mean age 69.6 yrs) were part of the complex breathing training for 12 weeks: breathing background education for 2 weeks, re-breathing training education for 4 weeks, and resistance inspiratory muscle training, which is a combination of a device (Powerbreathe® MEDIC IMT) exercise and a conventional thorax exercise, for 6 weeks. Ten participants (males) served as controls and did not participate in the training. SPSS 21.0 was used to analyze the collected data.

RESULTS: The complex breathing training group showed significant improvement ($p < .05$) in PEF [L], MIP [cmH₂O], and MEP [cmH₂O] after 12 weeks, while the control group showed no significant differences ($p < .05$) in any parameter. There were no significant differences ($p < .05$) in all the items between the groups.

[†]Corresponding Author : Dong-Yeon Kang
dongyeon68@naver.com, <https://orcid.org/0009-0004-6844-3673>
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

CONCLUSION: These findings suggested that a complex breathing training program may improve cough capacity and respiratory muscle performance in patients with mild-to-moderate PD.

Key Words: Breathing exercises, Cough, Parkinson's disease, Pulmonary dysfunction, Respiratory muscles

I. 서론

파킨슨병(Parkinson's disease: PD)은 퇴행성 신경계 질환으로 중뇌 흑질의 도파민 신경세포 손상이 주된 원인이다. 이러한 이유로 PD 환자는 안정시 떨림, 근육 경직, 운동감소증(bradykinesia)과 같은 운동성 장애를 겪게 되며 개인에 따라서는 호흡기능나 인지기능 손상, 심혈관기능 및 수면장애, 우울증 등의 아주 다양한 비운동성 장애 증상들을 경험한다[1-4]. 비운동성 장애 증상 중 호흡기문제 유무는 환자의 일상생활활동과 삶의 질과 직접적인 관련이 있고 이들의 병원 입원과 직접적인 사망 원인으로도 작용하는 중요한 요인으로 확인되고 있지만 현재 일반적인 호흡질환과 차별화된 관리 지침도 없고 이들의 호흡장애에 대한 항 PD약물효과에 대한 논쟁도 지속되고 있다[2-6].

PD환자의 주요 호흡장애 특징은 가슴우리 유연성 감소, 가슴복부 확장 저하, 허파용적 감소, 날숨근 및 들숨근육 약화, 그리고 근육운동이상 등이며 이러한 손상으로 호흡곤란, 저산소증, 환기 및 기침능력 저하, 허파 분비물 및 무기폐와 같은 호흡기능장애가 초래되어 폐렴, 호흡패턴 이상 및 기능장애가 나타난다. 특히 호흡근 약화는 PD와 같은 퇴행성 신경계질환자의 경우에는 호흡기능 손상과 직접적으로 연결되기 쉬워 PD의 호흡장애 관리에서 중요한 인자이다[5-7].

이들의 호흡근 약화와 관련된 이전 연구를 보면 PD 환자 106명에게 허파기능검사를 실시하여 동일 연령대(60-70세)의 건강한 대상자와 1년간 비교한 결과, PD환자는 건강한 대조군에 비해 1년 후에 FEV₁/FVC는 거의 변화가 없었으나 감소된 FEV₁과 FVC를 확인하였다.

이러한 결과가 의미하는 것은 기도 폐쇄보다는 허파용적 감소로 대부분 호흡근 약화에서 비롯된다[7]. 또 다른 연구에서는 뚜렷한 경직증상을 보이는 PD환자의 주요 호흡근 근활성도(EMG)를 측정한 결과, 비대칭성 양상을 보이는 환자의 가로막 활동은 정상인 반면, 침범이 우세한 쪽의 목갈비근(scalene muscle)에서는 비정상적인 활동이 관찰되었다. 가로막의 정상적인 활동에 대한 관찰은 항 PD 약물이 PD의 호흡패턴에 미치는 영향을 조사한 연구에서도 확인되었다[6,9-10]. 이러한 결과는 가로막은 PD의 호흡근 약화 문제에서 관련이 없음을 시사한다. 그리고 이들의 호흡근 약증은 운동성 장애증상, 특히 운동감소증과 경직과 관련이 있는 것으로 확인된다. 이는 75명의 PD환자(H&Y 단계 1-3) 날숨근 정도와 H&Y 단계가 유의한 음의 상관관계 있고 들숨근은 일상생활에서 비운동적인 경험을 나타내는 MDS-UPDRS I 을 제외한 모든 항목에서 유의한 음의 상관관계 있는 것으로 나타난 결과에서도 병의 진행정도, 특히 운동장애와 호흡근의 관련성이 있음을 알 수 있다. 일반적으로 날숨근이 약하면 삼킴, 기침 그리고 언어능력의 문제로, 들숨근이 약하면 제한성 호흡장애와 가슴벽 경직으로 이어지는 것으로 보고된다[6,11-16].

PD의 호흡장애관련 연구는 지금까지 운동성 장애문제에 가려져 많이 다루어지지 않았다. 최근에 PD환자의 비운동성 장애관리에 대한 중요성이 부각되면서 호흡기능 관리 문제도 함께 제시되고 있고 규칙적인 호흡근 훈련을 통해 환자의 호흡기능 개선 가능성을 제시하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이들은 대부분 저항기구를 이용한 호흡근 강화훈련, 공기누적운동(Air Stacking), 인센티브 스피로메트리, 그리고 자세훈련을 통해 날숨 및 들숨근의 근력, 삼킴, 기침능력, 발성 등이 개선되는 것으로 보고한다[17-20]. 이러한 내용은 PD환자의 호흡장애 관리에 있어 주기적인 호흡기능 평가를 통한 조기 진단과 함께 호흡근 훈련은 이들의 호흡근 관리에 포함되어야 할 필수 선택사항임을 시사한다[6-7,11,21].

일반적으로 호흡재활프로그램은 운동, 기능적 훈련, 자가관리 교육뿐만 아니라 영양 및 사회심리적인 관리 등 다각적인 측면에서의 접근이 요구된다[22]. 이러한

것은 COPD질환자에게 제시되는 American Thoracic Society/European Respiratory Society Statement(ATS/ERS) 기본 가이드라인의 방향과 다르지 않다[23]. PD환자의 경우에는 병의 진행성과 복잡성을 고려하여 장기적인 관리에 중점을 두어야 하고 이들의 호근 약화는 운동장애로도 분류된다는 점 등을 고려하면 다른 호흡기질환 관리법과는 차별되는 새로운 접근이 요구된다. 호흡기구 사용에서도 PD환자는 호흡곤란 자각정도가 향진되어 있어 호흡근 저항훈련을 하는 동안에 일반인보다 상대적으로 더 심한 호흡곤란을 느낄 수 있는데, 훈련에 참여하여 적응하는 단계에는 호흡근 피로에 과민하게 반응할 수 있다[17,24]. 그리고 PD환자의 대부분이 노인이라는 측면도 고려해야 한다. 그러나 이전 연구에서는 PD환자의 이러한 특성은 고려되지 않았고 호흡훈련 적응단계의 프로그램을 제시하는 연구는 더욱 찾기 힘들다[17-18,20]. 따라서 이러한 이 연구에서는 PD환자의 호흡기능 특성을 고려하여 포괄적인 요소로 구성한 호흡훈련 적응단계의 프로그램을 제시하고 그 효과를 검증하고자 한다.

이 연구의 구체적인 목적은 들숨근 저항훈련 기구와 신체동작 그리고 자가관리 프로그램 등 다중 요소를 결합한 복합호흡훈련 프로그램을 구성하여 이 프로그램이 H&Y 단계 2-3인 PD 환자의 호흡 기능에 미치는 영향을 구명하는 데 있다. 그리고 이러한 결과를 PD환자의 호흡기능과 삶의 질 개선을 위한 호흡재활프로그램의 기초자료로 제공하는 데 있다.

II. 연구방법

1. 연구대상

D대학병원 신경과 파킨슨병센터에 외래진료중인 환자 중 60세 이상이고 독립적인 일상생활이 가능한 modified H&Y 2-3단계인 PD환자이다. 이들은 전문가가 UK Parkinson's disease society brain bank 임상기준에서 파킨슨병으로 진단한 자들로 이 연구에 대한 목적을 이해하고 모두 동의하였다. 이 연구에서 복합호흡훈련군은 12주간 항 PD약물치료와 복합호흡훈련을 병행하

는 그룹, 대조군은 12주간 항 PD약물치료(호흡기능 2회 측정 포함)만 유지하는 그룹으로 정의하고 대상자를 모집했다.

대상자수는 PD환자를 대상으로 들숨근 훈련의 효과를 검증한 선행연구를 참고하였다[3,16].

연구에 참여한 최초 인원은 30명(복합호흡훈련군 15명, 대조군 15명)으로, 이들은 전문의 소견으로 12주간 규칙적인 훈련 참여가 가능하다고 판단된 자들이었다. 연구진행 과정에서 건강 상태나 개인적인 문제로 5회 이상 그룹 및 개인훈련에 참여하지 않은 대상자 4명을 제외한 11명(남 9명, 여 2명)을 최종 복합호흡훈련군으로, 사후 측정에 참여하지 않은 5명을 제외한 10명(남)을 최종 대조군으로 하였다.

대상자 선정 시 제외 기준은 1) 최근 1년 이내에 급·만성 호흡기 및 심혈관 질환을 진단받았거나 호흡곤란을 경험한 환자, 2) PD이외에 진행성 핵상마비(progressive supranuclear palsy)나 다기관 위축(multiple systemic atrophy)과 같은 비전형적인 파킨슨 증후군(atypical parkinsonism) 환자, 3) 약물 등에 의한 증후성 파킨슨증(symptomatic parkinsonism)이 의심되는 환자, 4) 인지장애(K-MMSE $\leq$ 23점)가 있는 환자, 5) 최근 3개월내 운동이나 재활훈련에 5회 이상 참여하지 않은 PD환자이었다.

연구기간동안 헬싱키 선언의 연구윤리적 기준을 준수하였다. 대조군은 연구기간동안 약물치료와 함께 평소 일상생활을 유지토록 하였다. 또한 모든 대상자의 약물처방은 연구기간동안 일정하게 유지되었고 측정 결과에 미칠 수 있는 약물의 영향을 고려하여 모든 대상자는 측정 1-2시간 전에 처방약물을 복용하도록 통제하였다. 이들의 일반적인 특성은 다음과 같다(Table 1).

2. 측정도구 및 방법

1) 파킨슨병 장애평가척도(movement disorder society unified Parkinson's disease rating scale, MDS-UPDRS)

이 연구에서는 Goetz 등에 의해 개정된 MDS-UPDRS를 사용하여 신경과 전문의가 평가하였다[25]. MDS-

Table 1. General characteristics of subjects

variables	total(n = 21)		p-value
	CBG(n = 11)	CG(n = 10)	
Age(years)	69.67 ± 5.90	68.02 ± 6.44	.622
Height(cm)	163.36 ± 7.55	164.74 ± 5.92	.916
Weight(kg)	60.90 ± 6.85	63.25 ± 7.16	.341
Sx D.(yrs)	5.73 ± 4.06	5.66 ± 4.32	.231
LED(mg/day)	504.72 ± 277.99	653.10 ± 347.18	.972
modified H&Y(stage)	2.20 ± .34	2.45 ± .49	.916
SEADL(%)	84.54 ± 5.22	82.00 ± 7.88	.244
MDS-UPDRS I (score)	2.30 ± .94	2.60 ± 1.42	.697
MDS-UPDRS II (score)	9.40 ± 3.71	8.10 ± 3.98	.791
MDS-UPDRS III (score)	31.70 ± 9.16	34.05 ± 8.39	.596
MDS-UPDRS IV (score)	1.90 ± 1.72	2.10 ± 1.85	.786
MDS-UPDRS total (score)	45.30 ± 12.37	46.85 ± 12.00	.482

M ± SD

CBG: complex breathing training group, CG: control group, LED: Levodopa equivalent dose

H&Y: Hoehn and Yahr, SEADL: modified Schwab and England activities of daily living

MDS-UPDRS: movement disorder society unified Parkinson's disease rating scale

UPDRS는 총 4개의 항목으로 구성된다. 1. 일상생활관련 비운동성 장애-정신, 행동 및 정서를 평가하는 항목, 2. 일상생활활동과 관련된 운동성 장애-말하기, 삼킴, 떨림(tremor) 등을 평가하는 항목, 3. 운동기능-얼굴표정, 경직, 걷기 등을 검사하는 항목, 4. 약물치료 관련 부작용, 합병증 (이상운동유무) 등을 평가하는 항목을 포함한다. 모든 항목의 점수는 점수가 높을수록 증세가 심한 것을 나타낸다.

2) 허파기능검사(pulmonary function test, PFT)

중재 전과 후에 spirometry(Pony Fx, COSMED, Italy)를 이용하여 검사하였다. 대상자는 등받이가 없는 의자에 앉아 10분 정도 안정을 취한 상태에서 코마개를 이용하여 코의 공기흐름을 차단하고 입으로만 호흡하도록 하였다. 평상시 호흡을 3회 이상 수행한 후 최대한 공기를 들이마신 후 최대한 빠르고 세게 공기를 내쉬어 최대 노력성 날숨곡선(maximal effort expiratory spirogram)을 측정하여 FVC(L)를 구하였다.

측정 전에 대상자에게 측정 과정 및 방법에 대한 설명을 자세히 하였고 마우스피스 사용 시 침 흘림이나

공기 빠짐 등을 최대한 통제하여 정확도를 높이고 최고치를 구하기 위해 마우스피스만을 이용하여 측정 연습을 3회 이상 실시한 후 측정을 진행하였다. ATS/ERS의 2005년과 2019년 가이드라인을 준수하여 측정치는 3회 이상 반복 측정한 후 최대값으로 하였다[26-27].

이 연구에서는 PFT로 수집된 자료 중 노력성허파활량(FVC)(L), 1초간노력성날숨양(FEV₁)(L), 최대 날숨유량(PEF)(L), 날숨예비용적(ERV)(L), 허파활량(VC)(L) 및 분당날숨양(VE)(L)을 사용하였다 [1,7].

3) 최대 호흡근력 검사(maximal respiratory pressure)

중재 전과 12주 중재 후에 호흡근 압력을 측정하였다 [16,18,28]. 의자에 앉은 자세에서 respiratory pressure meter(Micro RPM, Care-Fusion/MICRO Medical Ltd., UK)를 이용하여 대상자의 최대 들숨근압(Maximal Inspiratory Pressure, MIP)과 최대 날숨근압(Maximal Expiratory Pressure, MEP)을 얻었다. 측정 전에 대상자가 바른 검사방법을 충분히 숙지할 수 있도록 반복 지도하고 마우스피스만을 이용하여 측정 연습을 3회 이상 실시한 후 측정을 진행하였다. 최대 들숨근압(MIP) 측

정 후 10분 정도의 충분한 휴식을 취한 후 최대 날숨근 압(MEP)을 측정하였다.

PD환자의 특성상 침흘림, 안정 시 진전, 심리적 긴장과 같은 외부 변인이 측정값에 영향을 미칠 수 있으므로, 이러한 요인을 가능한 한 통제하였다. 모든 측정은 3회 반복하여 실시하였으며, 그 결과 최고값과 최저값 간 편차가 30% 이상인 대상자가 6명으로 확인되었다. 이에 따라 이 연구에서는 신뢰도 높은 자료 확보를 위해 세 번의 측정값 평균을 최종 결과값으로 사용하였다.

측정단위는 cmH_2O 이고 임상적으로 유용한 정상치는 $\text{MIP} < -60\text{cmH}_2\text{O}$ 이고, $\text{MEP} > 80-100\text{cmH}_2\text{O}$ 이다.

3. 중재방법

1) 복합호흡훈련프로그램(complex breathing training program for Parkinson's disease patients)

이 연구에서는 이전연구를 참고로 수정·보완하여 구성하였다[22,24,29]. 호흡교육, 호흡재교육 그리고 기구 및 흉부가동운동을 병행한 들숨근 저항훈련(그룹 및 개인훈련) 그리고 자가관리프로그램(훈련기록지 작성)으로 구성된 적응기 복합호흡훈련 프로그램을 12주간 프로그램의 단계별 목적과 난이도에 따라 점진적으로 실시하였다(Table 2). 프로그램진행 모든 과정은 대한심장호흡물리치료학회 고급과정을 이수한 10년 이상 경력을 지닌 물리치료사가 책임 지도하였고 3명의 보조 지도자가 함께 하였다.

(1) 호흡기초교육과정(A 과정)

대상자의 호흡에 대한 바른 이해를 목적으로 2주간 실시하였다. 내용은 이전연구를 참고하여 호흡기 해부생리, 효율적인 호흡법, PD환자의 호흡기능장애 및 호흡근강화 훈련의 필요성에 대해 이론 중심으로 구성하였다[29-31].

(2) 호흡재교육과정(B 과정)

대상자의 효율적인 호흡을 유도하고 들숨근 저항훈련을 위한 준비단계로 4주간 실시하였고 이전연구를 참고하여 가로막호흡, 오므린 입술호흡(pursed lips

breathing), 가슴확장운동(자가폐분 절호흡), 강화폐활량계(Respi Program[®], Medinet s.r.l., Italy) 훈련으로 구성하였다[22,29-31].

(3) 기구 및 가슴가동운동을 병행한 들숨근 저항훈련 과정(C 과정)

이전 연구를 참고하여 PD환자의 제한성 호흡기능장애와 가슴벽 경직의 원인이 되는 약화된 들숨근의 기능개선을 목적으로 수정된 가로막호흡운동, 오므린 입술호흡, 수건을 이용한 가슴확장 운동, 들숨근 저항훈련 기구(POWERbreathe[®]MEDIC IMT, POWERbreathe International Ltd, UK)와 함께 가슴가동운동을 6주간 실시하였다[13-14,24].

들숨근 저항운동은 POWERbreathe[®]MEDIC IMT와 8가지 동작으로 가슴가동운동을 구성하여 의자에 앉은 자세에서 기구의 마우스피스를 입에 물고 강하게 흡기하면서 실시하였다(Fig. 1).

PD환자는 호흡곤란 자각정도가 항진되어 있다는 측면을 고려하여 Bog's scale의 자각적 운동강도(rating of perceived exertion: RPE)(15 points)와 MIP(cmH_2O)로 강도를 설정하였다 [17,29]. 기구의 강도설정은 RPE 11-13 (fairly light-somewhat hard)에 해당하는 저항과 반복횟수로 설정하였다 [3]. 7째 주는 적응기로, 15%MIP (cmH_2O)에서 10-15회 호흡/세트로 하였고 8째 주는 RPE 11-13로 15-20회 호흡/세트로 실시할 수 있는 개인의 저항 [15-35%MIP(cmH_2O)]을 설정하여 훈련을 실시하였다. 강도는 2주마다 RPE 11-13에 상응하는 반복횟수를 점진적으로 증가시켜 최종 35회 /세트까지 하였다. 훈련 중 대상자가 어지러움 및 피로를 호소하면 중단하였고 자연스러운 호흡을 유도하여 휴식한 후 다시 시작하도록 하였다[29,32,33].

(4) 개인훈련에 대한 관리(D 과정)

대상자가 훈련 프로그램실시 직후에 미리 공유한 훈련기록지에 결과를 10주간 작성하도록 하였다. 훈련 프로그램 보조 지도자가 개인 전화로 대상자의 훈련여부와 운동 시 느낌을 매일 같은 시간에 확인하고 지속적으로 훈련프로그램에 참여할 수 있도록 독려하였다.

Table 2. The complex breathing training program for Parkinson's disease patients

orders		items	prescription
A	theoretical class	• respiratory system anatomy & physiology • breathing correction • respiratory dysfunction in Parkinson's disease • necessity for respiratory muscle training	• 2weeks • 2times/week • 50-60min/time
	group training	• warm up-stretching • diaphragmatic breathing • pursed lips breathing • localized expansion breathing • incentive inspiratory spirometry training	• 4weeks • 2times/week • RPE 9-11 • 50-60min/time • 10-15reps/set
B		• cool down-stretching • warm up-stretching	
	personal training	• diaphragmatic breathing • pursed lips breathing • localized expansion breathing • incentive inspiratory spirometry training	• 4weeks • 5times/week • RPE 9-11 • (25-30min/session)×2times • 10-15reps/set
		• cool down-stretching • warm up-stretching	
	group training	• modified diaphragmatic breathing • pursed lips breathing • localized expansion breathing with a towel • chest mobilization exercise with POWERbreathe®MEDIC IMT	• 6weeks • 2times/week • RPE 11-13 • 50-60min/time • 20-35reps/set
C		• cool down-stretching • warm up-stretching	
	personal training	• modified diaphragmatic breathing • pursed lips breathing • localized expansion breathing with a towel • chest mobilization exercise with POWERbreathe®MEDIC IMT	• 6weeks • 5times/week • RPE 11-13 • (25-30min/session)×2times • 20-35reps/set
		• cool down-stretching • warm up-stretching	
	self-care training	• recording of personal training (date, time, repetition, feeling)	

A: breathing education, B: breathing re-education and practice

C: resistance inspiratory muscle training(chest mobilization exercise + inspiratory muscle strengthen device)

D: self-care training

개인훈련은 소화기능 등을 고려하여 매일 아침 및 저녁 식사 후 2시간-2시간 30분에 실시하도록 하였다.

4. 자료분석

모든 자료는 SPSS 21.0 for Windows(IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하여 각 변수의 평균(M)과

표준편차(SD)를 산출하였다. 두 집단의 정규성 검정을 위해 Shapiro-Wilk 검정을 실시하였으며, 그 결과 정규성이 충족되지 않아 집단 간 비교를 위해 비모수 검정인 Mann-Whitney U 검정을 사용하였다. 또한, 집단내 시기 간 차이는 Wilcoxon signed-rank 검정을 실시하였다. 모든 통계적 유의수준은 $p < .05$ 로 설정하였다.

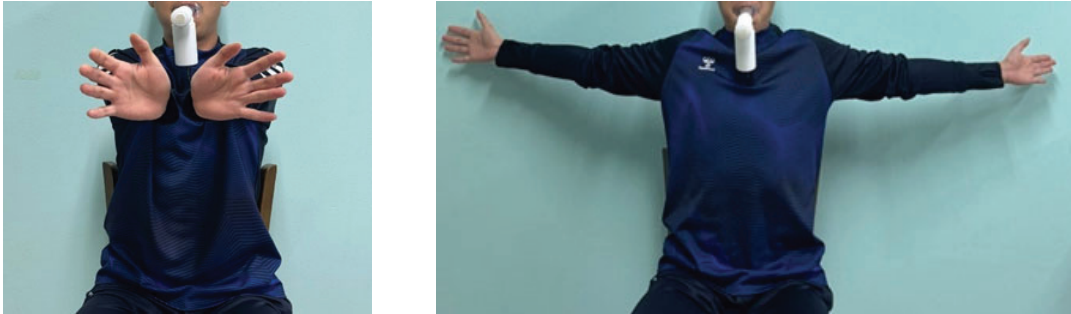


Fig. 1. Outstretching arms with inspiration.

III. 연구결과

H&Y 2-3단계인 PD환자 11명(남 9명, 여 2명)에게 복합호흡훈련을 12주간 실시하여 호흡기능과 호흡근력을 대조군 10명(남)과 비교 및 분석한 결과는 다음과 같다(Table 3).

모든 항목에서 두 집단간의 유의한 차이는 없었다. 그리고 집단내 비교에서는 복합호흡훈련군은 PEF(L) ($p < .05$), MIP(cmH₂O) ($p < .05$) 그리고 MEP(cmH₂O) ($p < .05$)에서 유의한 차이($p < .05$)를 보였고 대조군은 모든 항목에서 유의한 차이가 없었다.

IV. 고 찰

PD의 호흡문제는 질병 초기부터 시작될 수 있지만 증상이 다양해 조기발견이 어려운 경향이 있다. 그러나 병의 말기에 이르면 안정시 호흡곤란, 삼킴 및 기침반사장애가 두드러져 이들의 주요 사망원인인 흡인성 폐렴으로 연결된다[6-7,10-11]. PD에서 이러한 호흡장애가 발생하는 메커니즘은 중추 및 말초 시스템으로 설명이 가능한데 이중 말초 메커니즘은 이들의 운동감소증, 경직, 근육약화, 자세변화, PD약물로 인한 부작용 및 자율신경 기능장애로 제한성 호흡기능장애가 발생되는 것으로 본다. 폐쇄장애의 경우에는 상부기도는 바닥핵 문제로, 하부기도는 경직에서 비롯된다. 그리고 항PD약물사용도 이들의 호흡장애에 부정적인 영향을 미

칠 수 있는데 근육조절을 개선하고 들숨근의 근력 유지에는 도움이 되지만 가로막 운동이상으로 호흡장애를 유발하는 것으로 알려져 있다[34]. 2014년 유럽 PD재활 물리치료 가이드라인에는 PD의 호흡기관련 문제를 호흡근강화훈련을 통해 개선할 것을 권고하고 있다[35]. PD의 호흡장애가 발생하는 말초 메커니즘에서도 우리는 환자의 호흡문제와 운동성 장애의 관련성, 그리고 호흡근강화에 대한 필요성을 부정할 수는 없지만 임상 치료는 아직도 이들의 운동성 장애관리에 집중되고 있다는 것 또한 사실이다.

이 연구는 항 PD약물이 호흡장애에 미치는 제한적 치료효과로 논쟁이 지속되고 있다는 측면에서 PD호흡장애 관리에 있어 비약리학적 개입의 필요성과 호흡근 재활훈련의 임상적 가치를 강조하고 PD환자의 호흡장애 특징, 특히 질병시기에 따른 프로그램의 차별화를 고려한 호흡근훈련프로그램 개발의 필요성을 제시하고자 12주간 복합호흡훈련(호흡교육 2주, 호흡재교육 4주 그리고 기구 및 가슴가동운동을 병행한 들숨근 저항훈련 6주)을 H&Y 2-3단계인 노인 PD환자 11명(남9, 여2명)에게 실시하여 이들의 호흡기능과 호흡근력을 대조군 10명(남)과 비교 및 분석하여 복합호흡훈련프로그램의 효과를 구명하였다. 그 결과, 모든 항목에서 두 집단간의 유의한 차이는 없었지만 복합호흡훈련군(11명)은 12주 후에 PEF(L), MIP(cmH₂O) 그리고 MEP(cmH₂O)에서 유의하게 증가($p < .05$)하였고 12주간 일상생활을 유지한 대조군(10명)은 모든 항목에서 유의한 변화가 없었다.

Table 3. Comparisons of pulmonary function and respiratory muscle strength between the two groups

		Total(n = 21)		p-value
		CBG(n = 11)	CG(n = 10)	
FVC(L)	pre	2.45 ± .54	3.16 ± 1.72	.481
	post	2.54 ± .49	2.68 ± 0.75	.778
	p-value	.286	.333	
FEV ₁ (L)	pre	2.16 ± .52	2.39 ± 0.64	.414
	post	2.28 ± .50	2.37 ± 0.82	.761
	p-value	.241	.678	
FEV ₁ /FVC(%)	pre	89.70 ± 5.96	81.11 ± 19.57	.306
	post	89.00 ± 6.81	86.00 ± 16.43	.939
	p-value	.721	.343	
PEF(L)	pre	5.10 ± 2.47	6.63 ± 1.65	.231
	post	6.73 ± 2.11	6.08 ± 2.26	.573
	p-value	.041	.386	
ERV(L)	pre	.60 ± .34	.54 ± .49	.130
	post	.96 ± .65	.70 ± .35	.369
	p-value	.326	.285	
VC(L)	pre	2.78 ± .65	2.67 ± .56	.526
	post	2.34 ± .64	2.64 ± .53	.596
	p-value	.139	.721	
VE(mL/min)	pre	25.27 ± 10.59	18.65 ± 6.94	.257
	post	16.95 ± 11.36	14.67 ± 7.39	.967
	p-value	.093	.074	
MIP(cmH ₂ O)	pre	-46.45 ± 18.16	-48.75 ± 17.80	1.000
	post	-58.90 ± 20.82	-43.25 ± 20.21	.148
	p-value	.003	.263	
MEP(cmH ₂ O)	pre	71.64 ± 32.61	71.70 ± 31.51	.888
	post	85.72 ± 37.66	57.50 ± 22.65	.083
	p-value	.007	.068	

M ± SD

CBG: complex breathing training group, CG: control group, FVC: Forced Vital Capacity, FEV₁: Forced Expiratory Volume in one second, PEF: Peak Expiratory Flow, ERV: Expiratory Reserve Volume, VC: Vital Capacity, VE: Minute Ventilation, MIP: Maximal Inspiratory Pressure, MEP: Maximum Expiratory Pressure.

최근에 PD환자를 대상으로 한 호흡근강화훈련과 관련된 결과가 보고되고는 있지만 다양한 연구방법 및 조건 등으로 진행되어 이 연구결과와 비교 및 분석하면서 논의하기에는 다소 어려움이 있다. 따라서 여기에서는 복합호흡훈련군의 주요 결과를 중심으로 이전 연구를 참고하여 논의하고자 한다.

이 연구에서는 복합호흡훈련을 12주간 실시한 후에 호흡근력(MIP[cmH₂O], MEP[cmH₂O]) 및 기침능력(PEF[L])이 개선되었다. 이러한 결과와 관련된 이전 연구를 살펴보면 PD환자(H&Y 1-3단계) 31명을 들숨근 훈련군(11명), 날숨근 훈련군(10명) 그리고 대조군(10명)으로 분류하여 저항을 점진적으로 증가시키면서 2

개월 동안 주 6회 수행하여 이들의 기침능력을 비교한 결과, PD환자의 날숨근 훈련이 들숨근 훈련보다 MEP(cmH₂O)와 자발적 최대 기침량을 더 크게 개선시킨 것으로 나타나 날숨근 훈련이 기침능력 개선에 더 효과적인 훈련이라는 것을 입증하였다[10]. 다른 연구에서는 H&Y 2-3단계인 PD 환자(10명, 59.4세)에게 저항기구(Powerbreathe® MEDIC IMT)를 이용한 들숨근 훈련을 12주 동안, 60%PImax, 6회/주, 30분/일의 프로토콜로 실시하여 MIP(cmH₂O)가 비교군보다 유의하게 향상(p < .05)되었으나 FVC(L)와 FVC(%)는 비교군(10명, 65.2세, 저부하 흡기근 훈련실시)과 유의한 차이가 없는 것을 확인하였다[17]. 다음은 사례연구로, 54세 PD환자(여, H&Y 2.5단계)에게 20주동안 홈프로그램으로 날숨근 훈련을 실시하여 사전보다 훈련 후 MEP(cmH₂O)가 158%까지 개선되었으나 훈련을 중지하고 4주후에는 16%가 감소된 결과를 확인하였다[35].

이 연구에서는 호흡기초교육과정 2주를 제외한 10주동안 들숨근을 집중적으로 훈련할 수 있는 강화폐활량계와 들숨근 저항기구를 사용하여 호흡근훈련을 실시하였다. 그 결과, MIP(cmH₂O)가 26.7% 향상되었다고 생각한다. 물론 이 연구의 프로그램은 적응기 호흡훈련이라는 점과 환자의 피로도 등을 생각하여 RPE 11-13 (fairly light-somewhat hard)에서 들숨근 저항기구의 강도를 설정해 놓고 반복횟수를 점진적으로 증가시키면서 부하를 적용하였다. 그럼에도 불구하고 12주 훈련으로 들숨근 근력이 개선된 것이다. 그에 대한 이유는 훈련으로 원하는 최적의 결과를 얻기 위해서는 목적하는 결과에 맞는 운동유형이나 특정 근육군 등을 선택하여 집중적으로 훈련이 이루어져야 한다는 '특이성의 원리', 그리고 훈련은 최적의 변화를 가져올 정도의 충분한 강도로 실시되어야 하고 부하는 점진적으로 주어져야 한다는 '점증적 과부하의 원리'가 적용되어야 한다[34]. 이 연구는 이러한 원리를 적용하여 진행하였다는 측면에서 들숨근을 집중적으로 훈련할 수 있는 강화폐활량계와 들숨근 저항기구를 이용하여 점증적 과부하를 적용하면서 10주간 실시한 훈련이 MIP(cmH₂O)개선을 초래했다고 생각한다. 또한 일반적으로 저항운동을 골격근에 실시하여 약 2-3개월 이내 나타나는 근력증가의

주원인은 운동단위(motor unit)의 동시동원 확대에 있고 장기간 훈련을 통한 근력증가는 유형 I 및 유형 II 근섬유의 비대(hypertrophy) 및 증식(hyperplasia)에 의한 결과라고 볼 수 있다[36]. 호흡근도 골격근의 일종으로 다른 골격근과 유사한 방식으로 훈련 자극에 반응한다[37]. 따라서 이 연구에서 직접적인 호흡근 저항훈련이 실시된 기간이 10주라는 점을 생각하면 물론, 이 연구에서는 근활성도를 평가하지 않아 명확히 제시할 수는 없지만, 훈련 후 MIP(cmH₂O)가 26.7% 향상된 결과는 근비대나 근증식에 의한 근력향상이 아니라 운동단위 동원 확대에 의한 결과로 생각한다. 그리고 비교적 낮은 강도이지만 점진적으로 강도를 증가시키면서 진행한 규칙적인 호흡근훈련의 결과이고 또한 들숨근 강화훈련에 대한 경험이 전혀 없던 대상자의 특성에서 비롯된 것으로 생각한다.

한편 이 연구에서 복합호흡훈련으로 MIP(cmH₂O)가 26.7% 향상되었지만 그 값은 -58.90(cmH₂O)으로 임상적으로 유용한 MIP(cmH₂O)의 정상치인 -60(cmH₂O)에 미치지 못하는 것으로 나타났고 약물치료와 평소 일상생활을 유지한 대조군은 12주전 -48.75(cmH₂O)에서 12주후 -43.25(cmH₂O)로 나타나 유의한 감소는 아니지만 들숨근이 약화된 결과를 보였다.

PD환자의 호흡장애 재활프로그램이 다른 신경근 장애환자 프로그램과 분명히 구분되어야 하는 점은 이 두 질환은 호흡근 약증이 초래될 수 있다는 공통점이 있지만 PD환자는 운동감소증 및 경직의 영향으로 근육 조절 기능이 다른 신경근 장애환자보다 저하되어 있다는 점이다. PD환자의 가슴벽 경직으로 인한 비정상적으로 낮은 가슴벽 순응도(compliance)가 이들이 제한적인 호흡기능장애 패턴의 원인이 될 수 있다[32]. 따라서 PD환자의 호흡장애 재활프로그램은 감소된 가슴벽 순응도와 허파 확장의 개선을 목표로 하는 근육 조절훈련을 포함해야 한다[19].

이러한 측면을 고려하여 이 연구에서는 호흡재교육 과정과 들숨근 저항훈련과정에 저항성 들숨근 강화훈련기구와 함께 가슴가동운동을 병행하였고 가로막호흡운동과 가슴확장운동을 실시하였다. 특히 7주부터 가로막호흡운동은 누운 자세에서 복부에 개인에 따라

서 약 300-700g 정도의 부하를 점진적으로 증가시키면서 올려놓고 운동하는, 수정된 가로막호흡운동으로 훈련하도록 하였고 이것은 강제날숨말기에 작용하는 배곧은근 강화를 유도하였을 것으로 생각된다[38]. 이러한 방법이 날숨근 저항기구를 사용하지는 않았지만 이 연구에서 MEP(cmH₂O)가 사전 71.6(cmH₂O)에서 사후 85.7(cmH₂O)로 19.7% 유의하게 개선($p < .05$)되는데 영향을 준 것으로 생각한다. 대조군의 경우에는 MEP(cmH₂O)가 12주전 71.7(cmH₂O)에서 12주후 57.2(cmH₂O)로, MIP(cmH₂O)와 함께 감소된 것으로 나타났다. 하지만 두 집단간 MIP(cmH₂O) 및 MEP(cmH₂O) 모두 유의한 차이는 보이지 않았다.

한편 이 연구에서 PD환자의 12주간 복합호흡훈련군으로 기침능력 지표인 PEF(L)이 개선되었다.

기침은 일반적으로 기침반사와 수의적 기침으로 분류하는데 기도 내 이물질 제거나 과도한 점액을 배출함으로써 기도청결을 유지하는 데에 중요한 역할을 한다[39]. 상기도의 이물질 제거는 대부분 기침반사에 의해 가능하고 수의적 기침은 흡기, 압박 및 배출단계로 이루어진다. 흡기단계는 흉벽과 후두 들숨근의 수축에 의해, 압박단계는 후두 폐쇄와 복부의 날숨근 작용으로, 그리고 배출단계는 가슴벽과 복부의 들숨근 수축으로 완성된다[40-41]. 이때 기침 전에 흡입하는 가스의 양과 기침 호기의 흐름은 최대 들숨근 및 날숨근의 압력과 직접적인 관련을 가진다[10]. 이러한 측면에서, 이 연구에서 12주간 복합호흡훈련으로 개선된 PD환자의 PEF(L)는 MIP(cmH₂O) 및 MEP (cmH₂O)의 향상에서 초래된 것으로 생각한다. 이전연구에서 PD환자 58명을 날숨근 저항훈련군(34명)과 최대 날숨유량(PEF) 측정기구를 이용한 감각운동치료군(24명)으로 분류하여 5주간 날숨근 강화훈련을 실시하여 날숨근 저항훈련군은 MEP가 24%증가되었지만 기침능력에서는 변화가 없었고 최대 날숨유량(PEF) 측정기구를 이용한 감각운동치료군에서는 MEP와 함께 기침능력이 개선되었다고 하여 호흡근강화훈련에 감각운동을 도입하는 새로운 접근방식을 제시하였다[42]. 참고로, 이 연구에서 복합호흡훈련으로 MEP(cmH₂O) 변화율은 26.7%, PEL 변화율은 31%로 향상된 것을 확인하였다. PD환자는

기침자극에 대한 지각 감소로 기침유발에 더 강한 자극이 필요하며 수의적 기침조절 능력이 감소되어 있다[42]. 이러한 기침장애는 삼킴장애와 함께 대부분 이들의 사망원인인 흡인성 폐렴으로 이어진다. 따라서 이들의 기침능력 유지는 PD환자의 호흡근 강화훈련의 주요 목표 중 하나이다.

이 연구의 12주간 복합호흡훈련의 결과는 PD환자(H&Y 1-3단계, 63.7세) 38명에게 Dofin breathing trainer를 이용하여 12주 동안 주 5일 이상, 1일 2회, 30분씩 실시하여 호흡기능(FVC[%], FEV₁[%], FEV₁/FVC[%])은 변화가 없었지만 MIP(cmH₂O) 및 MEP(cmH₂O)은 유의한 향상($p < .05$)을 보인 날숨근/들숨근 및 삼키기 훈련을 한 연구결과와 거의 유사하였다[16]. 또한 12주간 일상생활을 유지한 대조군(10명)의 모든 항목에서 유의한 변화가 나타나지 않은 결과는 특히 이들이 H&Y 2-3단계의 환자로 호흡기장애가 심한 말기 환자가 아니며 약물치료와 일상생활 유지로 인해 12주 동안 호흡기능과 호흡근력이 유지된 것으로 생각한다.

이 연구의 특이점은 PD호흡장애관리는 병의 진행성과 복잡성을 고려하여 지속가능한 장기적 관리에 중점을 둔 다각적인 접근이 필요하다는 관점에서 그룹 훈련, 개인 훈련 그리고 자기관리 요소와 전통적인 호흡치료 인자를 통합적으로 포함시켜 PD환자를 위한 적응기 복합호흡훈련 프로그램으로 들숨근, 날숨근 그리고 기침능력이 개선되었다는 점이다. 하지만 제한점은 이 연구는 비교군이 없고 표본수가 적다는 점, 복직근의 근활성도 및 근력 등의 측정값 제시를 통한 결과에 대한 설명이 충분히 이루어지지 않은 점이 있으며 남녀 성비가 적절하게 배정되지 않았다는 점 또한 있다. 향후 연구에서는 이러한 점들을 보완하고 이들의 운동성 장애를 고려하여 다양한 신체활동을 포함하는 PD환자를 위한 호흡재활프로그램에 대한 시도를 제안한다.

V. 결론

본 연구에서는 다중 구성 요소를 결합한 적응기 복합호흡훈련 프로그램을 Hoehn and Yahr 2-3단계의 노인

PD환자에게 12주간 적용하여 이들의 호흡근력과 기침 능력을 반영하는 최대 날숨유량(PEF)이 개선됨을 확인하였다. 이는 복합적이고 체계적인 호흡 훈련이 파킨슨 병 환자의 호흡기능 향상에 기여할 수 있으며, 호흡기계와 관련된 비운동 증상 관리와 삶의 질 개선 측면에서도 임상적 가능성을 갖는다는 점을 시사한다. 다만, 본 연구는 표본 수와 중재 기간에 제한이 있으므로, 향후 다양한 단계의 환자를 대상으로 한 장기적·대규모 무작위 대조 연구가 필요하다. 아울러 프로그램의 효과를 뒷받침할 수 있는 생리학적 또는 신경학적 메커니즘에 대한 연구도 병행되어야 할 것이다.

Acknowledgements

본 논문은 강동연(2015)의 박사 학위 논문의 요약본임.

References

- [1] Kang DY, Cheon SM, Sung HR, et al. Correlations among Respiratory Function, UPDRS and Senior Fitness in Parkinson's Disease Patients. *J Korean Soc Phys Ther.* 2014;26(2):48-55.
- [2] Aquino YC, Cabral LM, Miranda NC, et al. Respiratory disorders of Parkinson's disease. *J Neurophysiol.* 2022;127(1):1-15.
- [3] Ferro AM, Basso-Vanelli RP, RLM Mello, et al. Effects of inspiratory muscle training on respiratory muscle strength, lung function, functional capacity and cardiac autonomic function in Parkinson's disease: Randomized controlled clinical trial protocol. *Physiother Res Int.* 2019;24(3):e1777.
- [4] Oliveira RT, Santos FMD, Ram AG et al. Pulmonary function and medication effect in mild-stage subjects with Parkinson's disease. *Arq Neuropsiquiatr.* 2022; 80(12):1233-8.
- [5] Barretto CD, Hugo de Freitas V, Miranda BS, et al. Effects of multicomponent combinations training on respiratory function in individuals with Parkinson's disease: A randomized clinical trial. *J Bodyw Mov Ther.* 2025;42:15-22.
- [6] Kaczyńska K, Orłowska ME, Andrzejewski K, Respiratory abnormalities in Parkinson's disease: what do we know from studies in humans and animal models?. *Int J Mol Sci.* 2022;23(7):3499.
- [7] Kang DY, Effects of symptoms stage on pulmonary function and functional fitness in patients with Parkinson's disease: focusing on older adults capability of independent living. *KPEAW.* 2021;35(12):105-19.
- [8] Kaminsky DA, Grosset DG, Kegler-Ebo DM, et al. Natural history of lung function over one year in patients with Parkinson's disease. *Respir Med.* 2021;182:106396.
- [9] Vercueil L, Linard JP, Wuyam B, et al. Breathing pattern in patients with Parkinson's disease. *Respir Physiol.* 1999;118(2-3):163-72.
- [10] Reyes, A, Castillo, A, Castillo, J, et al. The effects of respiratory muscle training on peak cough flow in patients with Parkinson's disease: a randomized controlled study. *Clin. Rehabil.* 2018;32(10): 1317-27.
- [11] Guedes LU, Rodrigues JM, Fernandes AA, et al. Respiratory changes in Parkinson's disease may be unrelated to dopaminergic dysfunction. *Arq Neuropsiquiatr.* 2012;70(11):841-51.
- [12] Mehanna R, Jankovic J, Respiratory problems in neurologic movement disorders. *Parkinsonism Relat Disorders.* 2010;16(10):628-38.
- [13] Moodie L, Reeve J, Elkins M, Inspiratory muscle training increases inspiratory muscle strength in patients weaning from mechanical ventilation: a systemic review. *J Physiother.* 2011;57(4):213-21.
- [14] Perrin C, Unterborn JN, D'Ambrosio C, et al. Pulmonary complications of chronic neuromuscular diseases and their management. *Muscle Nerve.* 2004;29(1):5-27.
- [15] Ciarka A, Vincent JL, van de Borne P, The effects of dopamine on the respiratory system: friend or foe?. *Pulm*

- Pharmacol Ther. 2007;20(6):607-15.
- [16] Huang CC, Lai YR, Wu FA, et al. Simultaneously improved pulmonary and cardiovascular autonomic function and short-term functional outcomes in patients with Parkinson's disease after respiratory muscle training. *J Clin Med*. 2020;9(2):316.
- [17] Inzelberg R, Peleg N, Nisipeanu P, et al. Inspiratory muscle training and the perception of dyspnea in Parkinson's disease. *Can J Neurol Sciences*. 2005;32(2): 213-7.
- [18] Pitts T, Bolser D, Rosenbek J, et al. Impact of expiratory muscle strength training on voluntary cough and swallow function in Parkinson disease. *Chest*. 2009;135(5):1301-8.
- [19] van de Wetering-van Dongen VA, Kalf JG, van der Wees PJ, et al. The effects of respiratory training in Parkinson's disease: a systematic review. *J Parkinsons Dis*. 2020; 10(4):1315-33.
- [20] Troche MS, Okun MS, Rosenbek JC, et al. Aspiration and swallowing in Parkinson disease and rehabilitation with EST: a randomized trial. *Neurology*. 2010;75(21): 1912-9.
- [21] Monteiro L, Souza-Machado A, Valderramas S, et al. The effect of levodopa on pulmonary function in Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Clin Ther*. 2012;35(5):1049-55.
- [22] Hillegass E. Essentials of cardiopulmonary physical therapy third edition. Canada. Elsevier Inc. 2011.
- [23] Spruit MA, Singh SJ, Garvey C, et al. An official American thoracic society statement: key concepts and advances in pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med*. 2013;188(8):e13-64.
- [24] McConnell A. Respiratory Muscle Training. Theory and Practice. London. Churchill Livingstone Elsevier Ltd. 2013.
- [25] Goetz CG, Tilley BC, Shaftman SR, et al. Movement disorder-society-sponsored revision of the unified Parkinson's disease rating scale (MDS-UPDRS): scale presentation and clinimetric testing results. *Mov. Disord*. 2008;23(15):2120-70.
- [26] Miller MR, Crapo R, Hankinson J, et al. General considerations for lung function testing. *Eur Respir J*. 2005;26(1):153-61.
- [27] Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, et al. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med*. 2019;200(8):e70-e88.
- [28] Duarte GP, Ferraz DD, Trippo KV, et al. Effects of three physical exercise modalities on respiratory function of older adults with Parkinson's disease: A randomized clinical trial. *J Bodyw Mov Ther*. 2023;36:425-31.
- [29] American College of Sports Medicine. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription 11 edition. USA. Wolters Kluwer Health Inc. 2022.
- [29] Korean Academy of Cardiorespiratory Physical Therapy. Cardiovascular and Pulmonary Physical Therapy Intervention. Republic Korea. Pummun education Co. 2013.
- [30] Mikaele H, Arami MA, Marndi MY, et al., Respiratory problems in Parkinson disease. *Clinical Pulmonary Medicine*, 2009;16(3):139-43.
- [31] Kisner C, Colby LA. Therapeutic Exercise. 5th Ed. Foundations and Techniques. USA. The F.A. Davis Co. 2007.
- [32] POWERbreathe® MEDIC IMT user manual. <http://www.powerbreathe.com>
- [33] McMahon L, Blake C, Lennon O. A systematic review and meta-analysis of respiratory dysfunction in Parkinson's disease. *Eur J Neurol*. 2023;30(5):1481-504.
- [34] Zhuang J, Jia J. Effects of respiratory muscle strength training on respiratory-related impairments of Parkinson's disease. *Front Aging Neurosci*. 2022;30(14):929923.
- [35] Saleem AF, Sapienza CM, Okun MS. Respiratory muscle strength training: treatment and response duration in a patient with early idiopathic Parkinson's disease. *NeuroRehabilitation*. 2005;20(4):323-33.

- [36] Lee YJ, Kim GJ, Shin GO, et al. (2023). *Physiology of Sport and Exercise*. 7th ed. Daehan Media.
- [37] Brito SAF, Scianni AA, Silveira BMF, Oliveira ERM, et al. Effects of high-intensity respiratory muscle training on respiratory muscle strength in individuals with Parkinson's disease: protocol of a randomized clinical trial. *PLoS One*. 2023;18(9):e0291051.
- [38] Mehanna R, Jankovic J. Respiratory problems in neurologic movement disorders. *Parkinsonism Relat Disorders*. 2010;16(10):628-38.
- [39] Mills C, Jones R, Huckabee ML. Measuring voluntary and reflexive cough strength in healthy Individuals, *Respir Med*. 2017;132:95-101.
- [40] Choi J, Baek S, Kim G, Park HW. Peak voluntary cough flow and oropharyngeal dysphagia as risk factors for pneumonia. *Ann Rehabilitation Med*. 2021;45(6):431-9.
- [41] Yawata A, Tsujimura T, Takeishi R, Magara J, Yu L, Inoue M. Comparison of physical properties of voluntary coughing, huffing and swallowing in healthy subjects, *PLoS One*. 2020;15(12):1-14.
- [42] Troche MS, Curtis JA, Sevit JS, et al. Rehabilitating cough dysfunction in Parkinson's disease: a randomized controlled trial. *Mov Disord*. 2023;38(2):201-11.