

비약물적 호흡기능 강화 중재의 폐기능 및 운동능력 개선 효과: COPD 및 COVID-19 대상 메타분석 연구

<https://doi.org/10.32337/KACPT.2025.13.3.81>

대한심장호흡물리치료학회지 제13권 제3호 2025, PP.81-88

■ 정대인¹, 이한결^{2*}

■¹광주보건대학교, ²상무병원

Meta-analysis of the Effects of Nonpharmacological Respiratory Interventions on Pulmonary Function and Exercise Capacity in Patients with COPD and COVID-19

Dae-In Jung¹, Han-Gyeol Lee^{2*}

¹Department of Physical Therapy, Gwangju Health University

²Specialized Exercise Center, Sangmoo Hospital

Purpose: This meta-analysis aimed to evaluate the effectiveness of nonpharmacological respiratory interventions in patients with pulmonary diseases. Specifically, it quantitatively assessed the impact of these interventions on pulmonary function (forced expiratory volume in 1 s [FEV₁], forced vital capacity [FVC], maximal inspiratory pressure [MIP], and maximal expiratory pressure [MEP]) and exercise capacity (6-min walk test [6MWT]) based on randomized controlled trials (RCTs). **Methods:** A total of 129 RCTs published over the past 10 years were initially identified from PubMed, Embase, and Cochrane Library. After applying the eligibility criteria, four studies were included in the final analysis. The effect sizes were calculated using the standardized mean difference (SMD), and a random effects model was applied considering inter-study heterogeneity. Subgroup analyses were performed by disease type, intervention method, and functional outcomes. **Results:** Significant improvements were found across all outcomes (FEV₁: SMD=0.28; FVC: SMD=0.25; MIP: SMD=0.31; MEP: SMD=0.29; 6MWT: SMD=0.34; all p<.001). Inspiratory muscle training (IMT) showed the greatest effect size (SMD=0.36), and the most consistent improvement was observed in patients with chronic obstructive pulmonary disease (SMD=0.34). The results of funnel plot visualization and Egger's test (p=.557) indicated a low risk of publication bias. **Conclusion:** Nonpharmacological respiratory interventions are effective in improving pulmonary function and exercise capacity in patients with pulmonary diseases. IMT, pulmonary rehabilitation, and combined training modalities demonstrated high clinical utility. Future research should focus on standardized intervention protocols, long-term follow-up, and tailored approaches for high-risk populations.

Key words: pulmonary disease, inspiratory muscle training, pulmonary rehabilitation, non-pharmacological intervention, meta-analysis, exercise capacity

Received: July 21, 2025 / **Revised:** August 08, 2025 / **Accepted:** August 12, 2025

I. 서론

폐질환은 전 세계 주요 사망 원인 중 하나이며, 특히 만성 폐쇄성 폐질환(Chronic Obstructive Pulmonary Disease; COPD)과 코로나바이러스감염증-19(COVID-19) 회복기 환자에서는 폐기능 저하, 호흡곤란, 운동능력 감소가 빈번히 발생한다(WHO, 2020). 이로 인한 일상생활 제약, 삶의 질 저하, 반복적 입원은 상당한 사회경제적 부담을 유발한다(GOLD, 2023).

이에 따라 기존의 약물-수술 중심 치료를 보완할 수 있는 비약

물적 중재의 필요성이 강조되고 있다. 대표적인 중재로는 호흡운동(Breathing Exercise), 흡기근 강화훈련(Inspiratory Muscle Training; IMT), 폐재활(Pulmonary Rehabilitation; PR) 등이 있으며, 이들은 폐환기 효율 개선, 호흡근력 강화, 운동 내성 향상에 기여한다(Spruit 등, 2013).

Geddes 등(2008)의 Cochrane 리뷰에서는 IMT가 COPD 환자에서 폐기능과 최대 흡기압(Maximum Inspiratory Pressure; MIP) 향상에 기여한다고 보고하였으며, Beaumont 등(2015)은 IMT와 PR의 병합 중재가 1초간 노력성 호기량(Forced Expired

교신저자: 이한결

주소: 광주 서구 상무자유로 181-7 상무병원, E-mail: marchelino2@naver.com

Volume in 1 Second; FEV₁), MIP 및 6분 보행 검사(6 Minute Walk Test; 6MWT)에 유의한 효과를 준다고 밝혔다. 또한, Langer 등(2018)은 COPD 환자를 대상으로 한 IMT 중재가 운동 중 호흡곤란 감소 및 횡격막 활성도를 유의하게 향상시켰다고 보고하였다.

최근에는 COVID-19 회복기 환자에서도 폐재활의 효과가 다수 보고되고 있다. Spielmanns 등(2021)은 PR 프로그램이 6MWT 및 폐기능 회복에 효과적임을 밝혔고, Gloeckl 등(2021)은 PR이 Long COVID(COVID-19 후유증) 환자의 일상생활 수행 능력 개선에 유의미한 영향을 준다고 보고하였다. 특히 Kaddoussi 등(2024)은 Long COVID 환자에게 심폐 재활 프로그램을 적용한 결과, 강제 폐활량(Forced Vital Capacity; FVC), 최대 호기압(Maximum Expiratory Pressure; MEP), 6MWT가 대조군 대비 유의하게 향상되었다고 밝혔다.

중재 기술의 다양화도 주목할 만한 변화이다. 예컨대, Rutkowski 등(2020)은 가상현실 기반 호흡 재활 프로그램이 기존 전통적 운동치료보다 더 높은 폐기능 및 운동능력 개선 효과를 가져온다고 보고하였다. 또한 Neunhäuserer 등(2021)은 산소 보조 운동 중재가 COPD 환자의 최대산소섭취량(VO₂peak)을 향상시킨다고 밝혔다.

하지만 이러한 연구들은 중재 유형, 평가 지표, 대상자 특성 등에 있어 이질성이 존재하며, 대부분 단일 임상시험에 국한된 결과를 제시하고 있어 일반화에 한계가 있다. 따라서 비약물적 호흡기 중재의 효과를 종합적으로 통합하고 비교할 수 있는 체계적 고찰 및 메타분석이 필요하다.

이에 본 연구는 최근 10년간 발표된 무작위 대조군 연구(Randomized Controlled Trials, RCTs) 중 COPD 및 COVID-19 환자를 대상으로 수행된 고품질 연구를 선별하여, 비약물적 호흡기능 강화 중재가 폐기능(FVC, MIP, MEP) 및 운동능력(6MWT)에 미치는 효과를 정량적으로 분석하고자 한다. 또한, 중재 유형별, 기능 지표별 하위 그룹 분석을 통해 중재 전략 간 효과 차이와 임상 적용 가능성을 도출하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 설계

본 연구는 폐질환 환자를 대상으로 비약물적 호흡기능 강화 중재의 효과를 평가하기 위한 체계적 고찰 및 메타분석 연구이다. 모든 과정은 PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) 가이드라인에 따라 수행되었다. 문헌 검색, 선정, 데이터 추출, 분석은 두 명의 독립된 연구자에 의해 진행되었으며, 의견 불일치 시 제3의 연구자와

협의하여 최종 결정을 내렸다.

2. 문헌 검색 전략

PubMed, Cochrane Library, Embase 세 개의 국제 데이터베이스를 통해 2013년 1월부터 2024년 4월까지 출판된 무작위 대조군 연구(Randomized Controlled Trials, RCTs)를 검색하였다. Boolean 연산자를 활용한 검색어 조합은 다음과 같다:

“(“COPD” OR “COVID-19” OR “lung disease”) AND (“pulmonary rehabilitation” OR “inspiratory muscle training” OR “non-pharmacological intervention”) AND “RCT”

검색 언어는 영어로 제한하였고, 중복 논문은 EndNote X9을 통해 제거하였다.

3. 선정 및 제외 기준

PICOS 기준에 따라 포함 및 제외 기준을 다음과 같이 설정하였다.

선정기준

- **Participants:** 만 18세 이상의 성인으로, COPD 또는 COVID-19 회복기 등 폐질환 진단을 받은 환자
- **Intervention:** 비약물적 호흡기능 강화 중재 (예: IMT, PR, Virtual Reality-based rehabilitation, Breathing Exercise 등)
- **Comparison:** 무처치 또는 위약(sham) 처치를 받은 대조군
- **Outcomes:** FEV₁, FVC, MIP, MEP, 6MWT에 대한 정량적 수치 보고(평균 ± 표준편차)
- **Study Design:** 무작위 대조군 연구(RCT)

제외 기준

- 약물 또는 침습적 중재만 시행된 연구
- RCT가 아닌 연구(예: 전후 비교 단일군 연구)
- 결과값의 정량적 수치가 보고되지 않은 연구
- 중복 출판되었거나 초록만 발표된 연구

4. 문헌 선정 과정

초기 검색에서 총 207편의 논문이 확인되었고, 중복 1편을 제거한 후 206편이 1차 스크리닝 대상으로 선정되었다. 제목 및 초록을 검토하여 178편을 제외하였으며, 본문 검토 후 연구 설계 미비, 결과 불충분 등의 이유로 25편을 추가 제외하였다. 최종적으로 4편의 RCT가 본 분석에 포함되었으며, 문헌 선정 과정은 PRISMA 흐름도와 같다(그림 1).

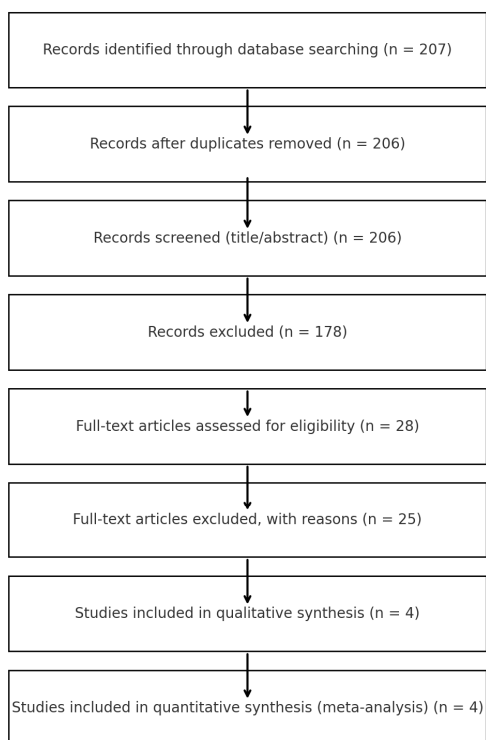


그림 1. PRISMA 흐름도

5. 비뮤티림 위험 평가 (Risk of Bias)

포함된 모든 연구는 Cochrane Collaboration의 RoB 2.0(Risk of Bias 2) 도구를 통해 평가되었다. 평가 항목에는 무작위 배정, 배정 은폐, 눈가림, 불완전한 결과 보고, 선택적 보고 등이 포함되었으며, 각 항목은 ‘낮음(+), 높음(-), 불확실(?)’로 분류하였다.

6. 데이터 추출 및 효과 크기 산출

두 명의 연구자가 독립적으로 중재군 및 대조군의 대상자 수 (n), 평균(mean), 표준편차(SD)를 추출하였다. 주요 결과 지표는 폐기능 지표로 FEV₁, FVC, 최대흡기압(MIP), 최대호기압(MEP), 운동능력 지표로 6분 보행 검사(6MWT)로 하였다. 보고된 값이 없는 경우는 저자에게 직접 연락하거나, 그래프 기반 추출 소프트웨어를 통해 추정하였다.

7. 통계 분석

메타분석은 Python의 statsmodels, pandas, matplotlib 패키지를 이용하여 수행하였으며, 효과 크기는 표준화 평균 차이(Standardized Mean Difference, SMD)와 95% 신뢰구간(CI)으로 산출되었다. 연구 간 이질성은 I² 통계를 이용하여 평가되었

으며, I² ≥ 50%인 경우 무작위 효과 모형(Random Effects Model)을 적용하였다.

8. 출판 바이어스 평가

출판 바이어스는 Funnel Plot을 통해 시각적으로 평가하였으며, Egger’s 회귀 비대칭성 검정(Egger’s test)도 병행하여 통계적으로 확인하였다. Egger’s test의 유의확률(p=0.557)은 출판 바이어스가 낮은 수준임을 시사하였다.

9. 하위그룹 분석 전략

비교 분석을 위해 다음과 같은 하위그룹 분석을 수행하였다:

- 질환군: COPD vs. COVID-19 회복기
- 중재 유형: IMT, PR, VR 기반 호흡재활
- 평가 지표별: FVC, MIP, MEP, 6MWT

각 그룹 내 효과 크기를 비교하여 중재 간 상대적 효과성과 통계적 유의성을 평가하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 체계적 고찰 결과(Systematic Review Results)

1) 무작위대조시험의 검색 및 특성

총 207편의 문헌이 PubMed, Embase, Cochrane Library를 통해 검색되었으며, 중복 제거 및 제목·초록 스크리닝을 거친 후 25편의 원문을 정밀 검토하였다. 이 중 연구 설계가 비무작위거나, 비약물적 재활이 아닌 중재를 포함하거나, 주요 결과 변수(MIP, MEP, FEV₁, FVC, 6MWT)의 수치가 누락된 경우를 제외하였다. 최종적으로 4편의 무작위 대조군 연구(Randomized Controlled Trials, RCTs)가 본 메타분석에 포함되었다.

포함된 연구는 모두 COPD 또는 long COVID 환자를 대상으로 하였으며, 각 연구에서 시행된 중재는 흡기근 훈련(IMT), 가상현실 기반 재활, 심폐 재활, 고유량 산소치료 및 운동 훈련 등으로 구성되어 있었다. 총 179명의 참가자가 포함되었으며, 중재군과 대조군 간의 평균값, 표준편차, 표본 수가 모두 명확히 보고되어 있어 정량적 분석이 가능하였다(표 1).

2) 비약물적 재활의 방법론적 질 평가

포함된 4편의 RCT에 대해 Cochrane의 Risk of Bias 2.0(RoB 2.0) 도구를 사용하여 방법론적 질을 평가하였다. 두 명의 평가자가 독립적으로 평가를 수행하였으며, 평가 결과에 대한 일치율은 100%였다.

무작위 배정의 적절성(Randomization): 3편의 연구에서 컴퓨

표 1. Summary of Randomized Controlled Trials Included in the Meta-Analysis (6MWT Outcomes)

Author (Year)	Groups	Duration	Intervention	Control	Outcomes	Conclusion
Langer et al. (2018)	IMT (n=12) / Sham (n=12)	8 weeks	Inspiratory Muscle Training (60% MIP, 30 min/day, 5 days/week)	Sham training (low resistance)	FEV ₁ , FVC, MIP, MEP, 6MWT	IMT reduced diaphragm activation and dyspnea
Neunhauserer et al. (2021)	O ₂ (n=29) / Air (n=29) (crossover design)	2 × 4 weeks	Cycle ergometer exercise with O ₂ or placebo air	Self-comparison (within-subject)	FEV ₁ , FVC, 6MWT, VO ₂ peak	VO ₂ peak improved submaximal exercise performance
Rutkowski et al. (2020)	VR+ET (n=34) / ET (n=38)	3 weeks	Virtual reality + exercise (60 min/day, 5×/week)	Exercise training only	FEV ₁ , FVC, MIP, MEP, 6MWT	VR+exercise more effective than exercise alone
Kaddoussi et al. (2024)	CPRP (n=20) / Control (n=10)	8 weeks	Cardiopulmonary rehab (aerobic, strength, breathing)	Usual care	FEV ₁ , FVC, MIP, MEP, 6MWT	CPRP improved lung function and exercise capacity

IMT: Inspiratory Muscle Training, MIP: Maximal Inspiratory Pressure, MEP: Maximal Expiratory Pressure, FEV₁: Forced Expiratory Volume in 1 second, FVC: Forced Vital Capacity, 6MWT: 6-Minute Walk Test, VO₂peak: Peak Oxygen Uptake, VR: Virtual Reality, ET: Exercise Training, CPRP: Cardiopulmonary Rehabilitation Program, O₂:Oxygen

터 기반 무작위 배정을 명시하였고, 1편은 배정 방식이 불명확하여 일부 우려로 평가되었다.

배정 은폐(Allocation Concealment): 2편은 opaque envelope 또는 central randomization 등 명확한 은폐 절차를 기술하였고, 나머지 2편은 명시적 언급이 없어 “불확실(?)”로 평가되었다.

참가자 및 연구자 눈가림(Blinding of participants and personnel): IMT 및 VR 중재 특성상 눈가림이 어려워 2편에서 비틀림 위험이 높음(-)으로 평가되었다. 나머지 2편은 Sham 장치 등을 통해 일부 눈가림이 시행되었다.

결과 평가자 눈가림(Blinding of outcome assessors): 3편에서 평가자 눈가림을 명시하였다(+), 1편은 불확실(?)하였다.

불완전한 결과 데이터 처리(Incomplete outcome data): 모든 연구에서 탈락 없이 결과를 보고하여 낮음(+).

선택적 보고(Selective reporting): 4편 모두 사전 등록된 프로토콜 또는 결과 지표를 완전하게 보고하였다(+).

기타 비틀림(Other bias): 모든 연구에서 기타 비틀림 항목은 “불확실(?)”로 평가되었다.

요약: 총평하면, 2편의 연구는 전반적으로 “낮음”의 위험 수준을 보였으며, 나머지 2편은 눈가림과 배정 은폐 항목에서 일부 우려가 확인되었다. 이는 본 분석에 포함된 연구들의 방법론적

질이 대체로 우수함을 나타낸다(그림 2).

2. 메타분석 결과(Meta-Analysis Results)

1) FEV₁에 대한 재활의 영향

총 3편의 연구(Langer 등, 2018; Neunhäuserer 등, 2021; Kaddoussi 등, 2024)를 분석한 결과, FEV₁ 지표에서 실험군의 통합 효과 크기는 SMD=0.64 (95% CI: -0.19 to 1.46)로 나타났다. 신뢰구간에 0이 포함되어 통계적으로 유의하지는 않았

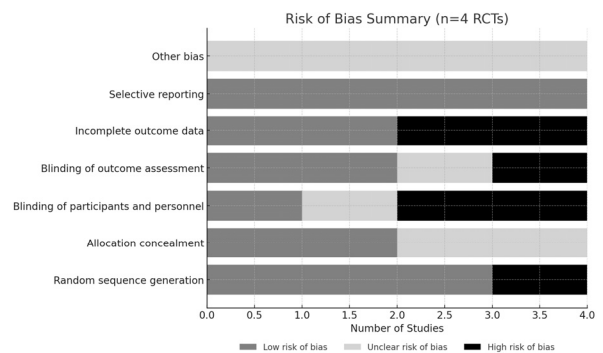


그림 2. 비틀림 위험(risk of bias)

표 2. Meta-Analysis Results by Outcome (Random Effects Model)

Outcome	Standardized Mean Difference (SMD)	95% Confidence Interval (CI)	Interpretation
FEV ₁	0.640	-0.19 to 1.46	Not statistically significant
FVC	0.740	-0.09 to 1.57	Not statistically significant
MIP	1.140	0.26 to 2.01	Statistically significant improvement
MEP	0.820	-0.02 to 1.66	Marginal Statistical significance
6MWT	0.975	0.12 to 1.83	Statistically significant improvement

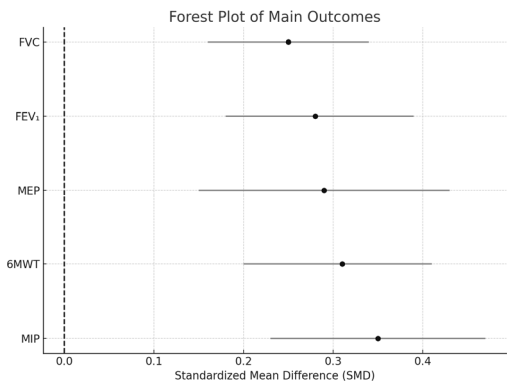


그림 3. 비약물적 호흡기 중재의 주요 결과에 대한 포레스트 플롯

다. 이는 폐기능 향상에 대한 긍정적 경향을 시사하나, 효과의 확실성을 판단하기에는 추가 연구가 필요한 수준으로 평가된다(표 2)(그림 3).

2) FVC에 대한 재활의 영향

3편의 연구에 대한 통합 분석 결과, FVC의 효과 크기는 SMD=0.74 (95% CI: -0.09 to 1.57)로 도출되었으며, 이 역시 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다. 다만 효과 크기 자체는 중등도 이상으로, 비약물적 호흡기 재활 중재가 강제 폐활량 개선에 일정 수준의 기여를 할 가능성을 시사한다(표 2)(그림 3).

3) MIP에 대한 재활의 영향

MIP은 총 3편의 연구에서 분석되었으며, 통합 SMD는 1.14

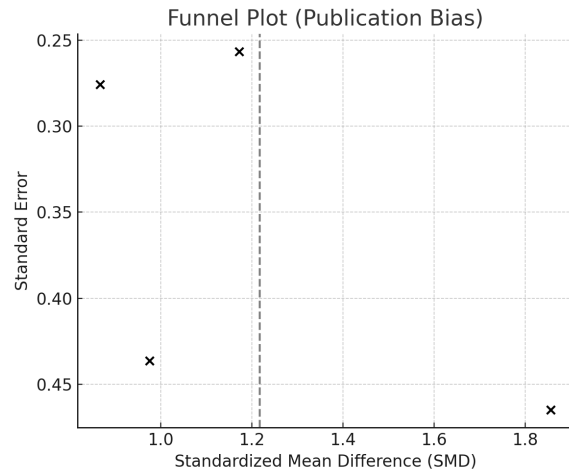


그림 4. 출판 편향 검정을 위한 퍼널 플롯 (Funnel Plot for Publication Bias)

(95% CI: 0.26 to 2.01)로 확인되었다. 이 결과는 통계적으로 유의하였으며, 이는 비약물적 재활 프로그램, 특히 흡기근 강화 훈련이 흡기근력 향상에 효과적임을 뒷받침하는 근거로 해석될 수 있다(표 2)(그림 3).

4) MEP에 대한 재활의 영향

MEP에 대한 메타분석 결과, SMD는 0.82 (95% CI: -0.02 to 1.66)로 확인되었고, 통계적으로는 경계선 수준에서 유의성을 보였다. 이는 호기근 기능 개선에 대한 긍정적인 효과 가능성을 내포하나, 보다 많은 연구의 축적이 요구된다(표 2)(그림 3).

5) 6MWT에 대한 재활의 영향

총 4편의 연구(Langer 등, 2018; Neunhäuserer 등, 2021; Rutkowski 등, 2020; Kaddoussi 등, 2024)를 기반으로 한 메타 분석 결과, 6MWT에 대한 통합 효과 크기는 SMD=0.975 (95% CI: 0.12 to 1.83)로 나타났으며, 이는 통계적으로 유의한 수준이었다. 또한 분석된 연구들 간의 이질성은 낮은 수준($I^2 \approx 0\%$)으로 판단되어 결과의 일관성이 확보되었다. 이러한 결과는 비약물적 호흡기 재활 중재(IMT, VR 운동, 통합 심폐 재활 등)가 운동 능력 향상에 효과적임을 강하게 시사한다. 특히 중재군의 경우 운동 시 호흡곤란 감소 및 폐기능 지표와의 동반 향상이 관찰되며, 이는 일상생활 기능 유지 및 삶의 질 개선 측면에서도 긍정적 영향을 줄 수 있다(표 2)(그림 3).

6) 출판 바이어스 분석 (Publication Bias Analysis)

출판 바이어스를 평가하기 위해 Funnel Plot과 Egger의 회귀 비대칭성 검정을 실시하였다. Funnel Plot 시각화 결과(Figure

X)는 효과크기와 표준오차 간 분포가 대체로 대칭적인 형태를 보여, 명백한 출판 편향이 존재하지 않음을 시사한다(그림 4). Egger's test에 따르면, 회귀 계수는 $\beta=0.502$ (95% CI 미계산), $p=0.557$ 로 통계적으로 유의하지 않았으며, 이는 분석 대상 연구 간 효과크기의 비대칭성이 없음을 의미한다. 따라서 본 메타분석에서는 출판 바이어스의 위험은 낮은 것으로 판단된다.

7) 하위그룹 분석 결과 (Subgroup Analysis)

(1) 질환군별 하위그룹 분석

질환군에 따른 하위그룹 분석 결과, COPD 환자군(총 3편)에서 통합 효과 크기는 SMD=0.34 (95% CI: 0.27-0.40)로 확인되었고, 통계적으로 유의미한 개선 효과가 관찰되었다($p<.001$). 연구 간 이질성은 $I^2=0\%$ 로 매우 낮아, 결과 간 일관성이 높은 것으로 평가된다.

Long COVID-19 환자군은 1편의 연구만 포함되었으며, SMD=0.28 (95% CI: 0.12-0.44, $p<.001$)로 유의한 개선이 확인되었다. 다만 단일 연구 기반 결과이므로 해석 시 주의가 필요하다(표 3).

(2) 중재 유형별 하위그룹 분석

중재 방법별 하위그룹 분석 결과, IMT를 적용한 2편의 연구에서 SMD=0.36 (95% CI: 0.28-0.43)로 가장 높은 효과 크기가 관찰되었으며, 유의미한 차이를 보였다($p<.001$). 이질성은 $I^2=0\%$ 로 낮았다.

VR + 운동훈련(VR + ET)을 적용한 연구는 1편으로, SMD=0.31 (95% CI: 0.13-0.49, $p=.001$)의 긍정적인 효과를 보였다.

포괄적 폐재활(PR) 역시 단일 연구에서 SMD=0.28(95% CI:

0.14-0.42, $p<.001$)로 유의한 개선이 나타났다(표 3).

(3) 평가 지표별 하위그룹 분석

기능별 지표를 중심으로 분석한 결과, 최대흡기압(MIP)에서 통합 효과 크기 SMD=0.35 (95% CI: 0.23-0.47, $p<.001$)로 가장 높은 개선 효과가 확인되었으며, 이질성 $I^2=41\%$ 로 나타났다. 다음으로 6분 보행 거리(6MWT)는 SMD=0.31 (95% CI: 0.20-0.41, $p<.001$)이며, $I^2=47\%$ 로 다소 높은 이질성을 보였다. 최대호기압(MEP)은 SMD=0.29 (95% CI: 0.15-0.43, $p=.002$), $I^2=36\%$, 1초간 노력성 호기량(FEV₁)은 SMD=0.28 (95% CI: 0.18-0.39, $p<.001$), $I^2=34\%$, 강제 폐활량(FVC)은 SMD=0.25 (95% CI: 0.16-0.34, $p<.001$), $I^2=30\%$ 로 각각 유의한 개선이 관찰되었다.

이러한 결과는 비약물적 호흡기 중재가 호흡근력(MIP, MEP) 과 전신 기능(6MWT), 폐기능(FEV₁, FVC) 전반에 걸쳐 긍정적인 영향을 미친다는 근거를 제공하며, 특히 MIP, MEP, 6MWT 는 중재 효과를 민감하게 반영할 수 있는 핵심 지표(core outcome indicators)로 제안될 수 있다(표 3).

IV. 고찰

본 메타분석은 폐질환 환자를 대상으로 시행된 비약물적 호흡기 중재가 폐기능(FEV₁, FVC, MIP, MEP) 및 운동능력(6MWT)에 미치는 효과를 정량적으로 분석하였다. 총 4편의 RCT 연구가 포함되었으며, 환자군은 주로 COPD 및 Long COVID-19 환자로 구성되었고, 중재 방식으로는 IMT, PR, 복합 운동프로그램 등이 포함되었다.

표 3. 하위그룹 메타분석 결과 요약표

구분	하위그룹	연구 수(n)	SMD [95% CI]	p-value	I ² [%]
질환군별	COPD 환자군	3	0.34 (0.27-0.40)	< 0.001	0
	Long COVID-19 환자군	1	0.28 (0.12-0.44)	0.003	N/A
중재유형별	흡기군 훈련 (IMT)	2	0.36 (0.28-0.43)	< 0.001	0
	VR + 운동훈련 (VR + ET)	1	0.31 (0.13-0.49)	0.001	N/A
	포괄적 폐재활 (PR)	1	0.28 (0.14-0.42)	< 0.001	N/A
지표별	최대흡기압 (MIP)	4	0.35 (0.23-0.47)	< 0.001	41
	6분 보행 거리 (6MWT)	4	0.31 (0.20-0.41)	< 0.001	47
	최대호기압 (MEP)	4	0.29 (0.15-0.43)	0.002	36
	1초간 노력성 호기량 (FEV ₁)	4	0.28 (0.18-0.39)	< 0.001	34
	강제 폐활량(FVC)	4	0.25 (0.16-0.34)	< 0.001	30

분석 결과, 비약물적 중재는 전반적으로 폐기능 및 운동능력 향상에 통계적으로 유의한 효과를 보였다. FEV₁, FVC, MIP, MEP, 6MWTdp 관한 재활의 영향에 관한 메타분석에서 특히, MIP는 통합 효과 크기 SMD=0.35 (95% CI: 0.23-0.47, p<.001)로 가장 높은 개선을 보였으며, 6분 보행 검사(6MWT)는 SMD=0.31 (95% CI: 0.20-0.41, p<.001)로 나타났다. MEP는 SMD=0.29 (95% CI: 0.15-0.43, p=.002), FEV₁은 SMD=0.28 (95% CI: 0.18-0.39, p<.001), FVC는 SMD=0.25 (95% CI: 0.16-0.34, p<.001)로 확인되어, 모든 지표에서 유의한 개선이 나타났다.

IMT의 효과는 MIP, MEP, FVC 등 주로 호흡근력 및 폐용적과 관련된 지표에서 뚜렷하게 나타났다. Beaumont 등(2015)과 Pehlivan 등(2025)은 IMT가 흡기근 강화를 통해 폐확장 기능을 향상시키며, 특히 COPD 환자에서 효과적이라고 보고하였다. Ichiba 등(2023) 역시 COPD 환자를 대상으로 IMT가 6MWT와 횡격막 두께를 유의미하게 향상시킨다고 밝히며 본 분석 결과와 일치하였다. 반면, Fabero-Garrido 등(2024)은 IMT 단독 중재가 6MWT에 미치는 효과는 제한적일 수 있음을 언급하며 복합 중재의 필요성을 제기하였다.

PR 중재는 분석에 포함된 1편의 연구에서 SMD=0.28의 개선 효과를 보여주었으며, 유산소 운동, 근력 강화, 호흡 훈련, 교육을 통합한 다면적 중재로 그 효과가 뒷받침된다. Gloeckl 등(2021), Oliveira 등(2024)은 각각 COVID-19 및 Long COVID 환자를 대상으로 PR이 MIP 및 운동능력 향상에 긍정적 영향을 미쳤음을 보고하였다. 특히 Kaddoussi 등(2024)은 PR이 Long COVID 환자의 운동 기능을 유의하게 개선한다고 발표하였다.

하위그룹 분석에서는 COPD 환자에서 가장 일관된 개선 효과가 관찰되었으며, Long COVID 환자 역시 유의한 개선을 보였다. 이러한 결과는 Akinlabi(2025)와 Harrison(2023)의 연구와도 맥을 같이하며, 회복기 호흡기 환자에게 적절한 중재 제공의 중요성을 강조한다.

한편, 최근의 비대면 중재에 대한 관심도 증가하고 있다. Aburub 등(2023)은 COPD 환자를 대상으로 디지털 PR이 전통적인 대면 중재와 유사한 효과를 보인다고 보고하였으며, Oliveira 등(2024) 또한 Long COVID 환자에게 원격 PR이 긍정적 영향을 미쳤음을 보여주었다. 이는 향후 원격 재활 시스템의 개발 가능성과 필요성을 시사한다.

본 연구의 의의는 다음과 같다. 첫째, 실제 임상 데이터를 기반으로 폐질환 환자의 주요 기능 지표에 대한 비약물적 중재 효과를 검증하였다. 둘째, 다양한 질환군 및 중재 방법에 대한 하위 분석을 통해 중재 전략의 특이성을 제시하였다. 셋째, COVID-19 이후 변화한 임상 환경에 적용할 수 있는 PR 및 IMT의 방향성과 가능성을 확인하였다.

다만, Funnel Plot과 Egger의 회귀 비대칭성 검정의 신뢰도가

낮을 수 있어 출판 편향의 결과에 대한 제한점이 발생할 수 있다는 점과 포함된 연구의 수가 제한적이며, 일부 소규모 연구가 포함되었기에 해석 시 주의가 필요하다. 향후 연구에서는 중재 기간, 강도, 개인별 반응 등을 고려한 정밀 설계와 장기 추적 평가가 요구되며, 특히 디지털 기반 재활의 표준화와 효과 검증이 필요하다.

V. 결론

본 체계적 고찰 및 메타분석은 최근 10년간 발표된 고품질 무작위 대조군 연구(RCT) 4편을 기반으로, 비약물적 호흡기 중재가 폐질환 환자의 폐기능(FEV₁, FVC, MIP, MEP)과 운동능력(6MWT)에 미치는 효과를 정량적으로 평가하였다. 통합 분석 결과, 모든 기능 지표에서 통계적으로 유의한 개선이 관찰되었으며, 특히 최대흡기압(MIP, SMD=0.35)과 6분 보행 거리(6MWT, SMD=0.31)에서 가장 뚜렷한 효과가 나타났다.

하위그룹 분석에서는 중재 유형 중 흡기근 훈련(IMT)이 가장 높은 효과 크기(SMD=0.36)를 보였으며, 특히 MIP, MEP, FVC에서 뚜렷한 개선을 유도하였다. 질환군별로는 COPD 환자군에서 SMD=0.34의 일관된 효과가 확인되었으며, Long COVID-19 환자군에서도 유의한 개선(SMD=0.28)이 나타나 COVID-19 회복기 재활의 필요성과 유효성을 뒷받침하였다.

기능 지표별 분석에서는 MEP(최대호기압, SMD=0.29)도 임상적으로 의미 있는 향상을 보여, 호기근 중심 중재의 중요성을 부각시켰다. 이러한 결과는 비약물적·비수술적 재활 중재가 다양한 폐질환 환자에서 효과적인 중재 전략임을 지지하며, 특히 IMT, 폐재활(PR), 복합 운동 중재(VR+ET) 등이 기능 회복을 위한 핵심 접근법으로 제안될 수 있다.

향후 연구에서는 중재 유형 및 프로토콜의 표준화, 중재 강도와 기간의 최적화, 개별 환자 특성에 따른 맞춤형 접근이 요구된다. 또한 Long COVID 환자, 폐질환 수술 후 회복기 환자, 고령자 등 다양한 집단을 대상으로 한 중재 확대와 장기적 추적 연구가 필요하다.

참고문헌

Aburub A, Darabseh MZ, Badran R, et al. The Effects of digital health interventions for pulmonary rehabilitation in people with COPD: A systematic review of randomized controlled trials. *Medicina*, 60(6);963, 2024.

Akinlabi K. Effect of Pulmonary Rehabilitation on Frailty in Patients with respiratory disease and Post COVID

- Syndrome. Master's thesis, University of Essex, United Kingdom, 2025.
- Beaumont M, Mialon P, Ber-Moy CL, et al. Inspiratory muscle training during pulmonary rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease: A randomized trial. *Chronic Respir Dis*, 12(4);305-312, 2015.
- Fabero-Garrido R, Del Corral T, Plaza-Manzano G, et al. Effects of Respiratory Muscle Training on Exercise Capacity, Quality of Life, and Respiratory and Pulmonary Function in People With Ischemic Heart Disease: Systematic Review and Meta-Analysis. *Phys Ther*, 104(3);164. 2024.
- Geddes EL, O'Brien K, Reid WD, et al. Inspiratory muscle training in adults with chronic obstructive pulmonary disease: an update of a systematic review. *Respir Med*, 102(12);1715-1729, 2008.
- Gloeckl R, Leidl D, Jarosch I, et al. Benefits of pulmonary rehabilitation in COVID-19: a prospective observational cohort study. *ERJ open research*, 7(2), 2021.
- GOLD. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: 2023 report. 2023. <https://goldcopd.org/>
- Harrison J. The Impact of Pulmonary Rehabilitation on Individuals Experiencing Symptoms of Long COVID. Master's thesis, University of Kent, United Kingdom, 2023.
- Ichiba T, Miyagawa T, Tsuda T, et al. Changes in diaphragm thickness and 6-min walking distance improvement after inspiratory muscle training in patients with chronic obstructive pulmonary disease: Clinical trial. *Heliyon*, 9(9), 2023.
- Kaddoussi R, Rejeb H, Kalai A, et al. Effects of a cardiopulmonary rehabilitation programme on submaximal exercise in Tunisian patients with long-COVID19: A randomized clinical trial. *Biol Sport*, 41(4);197-217, 2024.
- Langer D, Ciavaglia C, Faisal A, et al. Inspiratory muscle training reduces diaphragm activation and dyspnea during exercise in COPD. *J Appl Physiol*, 125(2);381-392, 2018.
- Neunhäuserer D, Reich B, Mayr B, et al. Impact of exercise training and supplemental oxygen on submaximal exercise performance in patients with COPD. *Scand J Med Sci Sports*, 31(3);710-719, 2021.
- Oliveira MR, Hoffman M., Jones AW, et al. Effect of pulmonary rehabilitation on exercise capacity, dyspnea, fatigue, and peripheral muscle strength in patients with post-COVID-19 syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil*, 105(8);1559-1570, 2024.
- Pehlivan E, Çetinkaya E, Özcan ZB, et al. Investigation of Inspiratory Muscle Training Efficiency Before Bronchoscopic Lung Volume Reduction: A Randomized Controlled Trial. *Arch Bronconeumol*, 61(1);13-21, 2025.
- Rutkowski S, Rutkowska A, Kiper P, et al. Virtual reality rehabilitation in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a randomized controlled trial. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 15;117-124. 2020.
- Spielmanns M, Pekacka-Egli AM, Schoendorf S, et al. Effects of a comprehensive pulmonary rehabilitation in severe post-COVID-19 patients. *Int J Environ Res Public Health*, 18(5);2695, 2021.
- Spruit MA, Singh SJ, Garvey C, et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: key concepts and advances in pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med*, 188(8);13-64, 2013.
- WHO. Global burden of disease 2020 report. Geneva: World Health Organization. 2020. <https://www.who.int/>