

흉벽 가동화가 만성 폐쇄성 폐질환 환자의 흉벽 확장과 폐 기능에 미치는 영향: 체계적 고찰

<https://doi.org/10.32337/KACPT.2026.14.1.21>

대한심장호흡물리치료학회지 제14권 제1호 2026, PP.21-32

■ 김민희^{1*}

■¹인제대학교 물리치료학과

Effects of Chest Wall Mobilization on Chest Expansion and Pulmonary Function in COPD: A Systematic Review

Min-Hee Kim^{1*}

¹Department of Physical Therapy, Inje University

Purpose: This systematic review aimed to evaluate the effects of chest wall mobilization on chest expansion and pulmonary function in patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD). **Methods:** International electronic databases, including PubMed, Cochrane Library, and Wiley Online Library, were searched for studies published between March 2016 and February 2025. The search was limited to articles published in English. Two reviewers independently screened the studies and extracted the data. The risk of bias was evaluated using the Cochrane Risk of Bias tool 2.0 (RoB 2.0). Owing to the heterogeneity of interventions and outcome measures, a narrative synthesis was conducted instead of a meta-analysis. **Results:** To examine the effects of chest wall mobilization in patients with COPD, seven randomized controlled trials were reviewed. The interventions included manual therapy, respiratory muscle stretching, and breathing techniques. Most studies reported improvements in chest wall expansion, maximum inspiratory/expiratory pressure, and 6-Min Walking Distance, with some exceeding the minimal clinically important difference. Furthermore, dyspnea improved in some cases, whereas the Forced Expiratory Volume in 1 second/Forced Vital Capacity showed inconsistent results. **Conclusion:** Chest wall mobilization can be an effective factor in pulmonary rehabilitation in patients with COPD, contributing to improvements in chest wall mobility, respiratory muscle function, and exercise tolerance. However, evidence on its effect on lung capacity measurement function remains limited. In future research, standardized measurement methods and long-term follow-up studies will be warranted to more accurately determine the effects of chest wall expansion.

Key words: chest wall expansion, chest wall mobilization, chronic obstructive pulmonary disease, pulmonary function, respiratory muscle stretching, thorax mobility

Received: August 04, 2025 / **Revised:** September 02, 2025 / **Accepted:** September 03, 2025

I. 서론

만성 폐쇄성 폐질환(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)은 전 세계적으로 사망률과 이환율을 증가시키는 대표적인 만성 염증성 폐질환으로, 기류 제한과 폐 과팽창에 의해 흉벽 가동성이 감소하고 호흡근 기능이 저하된다(Vogelmeier 등, 2017). 이러한 변화는 질환의 진행과 함께 심화되어 특히 GOLD II-IV 단계에서 흉벽 확장 제한과 호흡근력이 두드러진다(O'Donnell과 Laveneziana, 2007). 더불어 COPD 환자들은

운동 내성 저하, 근육 약화, 삶의 질 저하를 흔히 경험하며, 이로 인한 장애와 사회적 고립에 직면한다. 특히 말초 근육 약화와 가스 교환 장애는 운동 내성 저하의 주요 원인으로 보고되고 있다(Gosselink 등, 1997).

COPD 환자의 임상적 특징은 1초 강제호기량(forced expiratory volume in 1 second, FEV₁)과 강제폐활량(forced vital capacity, FVC)의 비율이 지속적으로 감소하는 것으로, 이러한 측정변수들은 COPD 진단에 필수적인 지표가 된다(Siafakas 등, 1995). COPD의 중증도는 주로 FEV₁ 예측치와

교신저자: 김민희

주소: 경상남도 김해시 인제로 197, 인제대학교 물리치료학과 Email. mhkim@inje.ac.kr

증상 평가를 기준으로 한 GOLD(Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease) 분류에 따라 단계(I-IV)로 정의된다. GOLD I은 경증(FEV₁ ≥ 80% predicted), GOLD II는 중등도(50-79%), GOLD III는 중증(30-49%), GOLD IV는 매우 중증(< 30%)으로 구분된다(Vogelmeier 등, 2017). 또한 최근 GOLD 보고서에서는 증상과 급성악화 위험도를 반영하여 A-D 군으로 분류하는 다차원적 평가 체계를 제시하였다(GOLD, 2023). 이러한 단계 구분은 질환의 임상 양상과 기능적 제한 정도를 반영하며, 재활 중재의 목표 설정과 치료 전략 수립에 중요한 근거가 된다. 따라서 COPD 환자의 임상 관리와 재활 프로그램은 호흡기계 기능 저하뿐 아니라 흉벽 가동성 감소를 동시에 고려해야 한다.

COPD의 병태생리학적 변화는 호흡기계와 근골격계 간의 복잡한 상호작용을 유발한다. 폐 과팽창과 탄성 회복력 감소는 흉벽의 기하학적 변화를 초래하여 횡격막 기능 부전을 유발하며(O'Donnell과 Laveneziana, 2007), 흉벽은 과팽창된 상태에서 가동성이 저하되고 질환이 중증으로 진행함에 따라 점차 경직된다(Tzani 등, 2011). 이러한 변화는 호흡근 기능 저하뿐 아니라 근골격계 전반에도 영향을 미쳐 근육 위축과 골밀도 감소를 유발하며, 경추 및 흉추 관절 가동범위 제한과도 관련된다(Mou 등, 2024). 결과적으로 호흡근 과활동이 증가하고 척추, 늑골, 흉골 관절의 경직이 초래되며(Lim 등, 2018; Yelvar 등, 2016), 이는 COPD 환자의 호흡 효율을 더욱 떨어뜨린다. 따라서 흉벽의 가동성과 근골격계 기능을 회복시키는 중재법은 COPD 환자의 호흡 기능과 효율성을 개선하거나 유지하는 데 중요한 역할을 할 수 있다(Gea 등, 2015).

최근 이러한 치료적 요구를 반영하여, 흉벽의 가동성과 근골격계 기능을 회복시키기 위한 흉벽 가동화(chest wall mobilization) 기법이 호흡 재활의 중요한 구성 요소로 주목받고 있다(Rehman 등, 2020). 흉벽 가동화란 흉곽의 기계적 움직임을 증진시키고 호흡 근육의 기능을 최적화하기 위해 시행하는 치료적 중재의 총칭으로, 흉곽·늑골·흉추에 대한 수기 가동술, 호흡근 스트레칭, 몸통 관절 가동범위 운동, 호흡근 자가 스트레칭, 호흡근 고유수용성 신경근촉진법(Proprioceptive Neuromuscular Facilitation, PNF) 등을 포함한다(Tsang 등, 2022; Tsui 등, 2023). COPD 환자를 대상으로 한 흉벽 가동화의 적용은 최근 10여 년간 주목받기 시작한 새로운 치료 접근법으로 보고되고 있다(Engel 등, 2016). GOLD 2023 보고서는 “COPD 환자의 관리와 재활에서 근골격계 기능 장애 영역은 거의 표적화되지 않았다”고 지적하며, COPD 환자를 대상으로 흉벽 가동성과 근골격계 기능을 동시에 회복시키는 연구는 아직 초기 단계임을 언급하였다(Agustí 등, 2023). 또한 2022년 아시아 태평양 물리치료 학회에서는 COPD 환자를 대상으로 한 흉벽 가동화 기법의 효과가 발표되는 등, 국제적으로도 주목받고 있는

연구 분야로 자리잡고 있다(Tsang 등, 2022).

흉벽 가동화 기법의 치료적 기전은 단축된 늑간근의 길이를 늘려 최적의 길이-장력 관계를 회복함으로써 근수축 효율을 향상시키고(Tsui 등, 2023), 흉벽 운동의 역학을 개선하여 하부 늑골의 전방·상방 이동과 횡격막의 하강을 촉진하는 데 있다(Beaumont 등, 2018). 그러나 이러한 잠재적 이점에도 불구하고 COPD 환자를 대상으로 한 흉벽 가동화 연구는 아직 초기 단계에 머물러 있으며, 연구 설계와 결과 지표의 이질성으로 인해 그 효과는 체계적으로 규명되지 않았다(Akuzum 등, 2024; Tsui 등, 2023). 따라서 현재까지 보고된 근거를 종합·분석하여 흉벽 가동화 기법의 임상적 효과와 근거 수준을 평가하는 체계적 고찰이 필요하다. 본 연구의 목적은 COPD 환자에서 흉벽 가동화가 흉벽 확장, 호흡근 기능, 운동능력, 호흡곤란 등에 미치는 효과를 규명하고, 임상적 활용 가능성과 향후 연구 방향을 제시하는 데 있다.

II. 연구 방법

1. 문헌 검색 전략

본 연구는 체계적 고찰(systematic review)로 수행되었으며, Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses(PRISMA) 지침을 준수하였다(Page 등, 2021). 검색 문헌은 무작위 대조군(randomized controlled trial, RCT) 연구들로서 비무작위 대조군 연구, 단일군 전후 비교연구, 사례 연구, 고찰 연구 등은 제외하였다.

2. 검색어 선정

본 연구는 흉벽 가동화를 중재로 적용한 연구들을 PICO(patient, intervention, comparison, outcome) 기준에 의거하여 선정하였다(Liberati 등, 2009). 대상자(P)는 GOLD I-IV 단계로 진단된 성인 COPD 환자였으며, 중재(I)는 흉벽 가동화(chest wall mobilization)로 정하였다. 흉벽 가동화는 수기 흉곽·늑골·흉추 가동술, 호흡근 자가 스트레칭, 호흡근 PNF 기법을 포함하며, 전기치료, 전통적 호흡 훈련은 보조적 중재로 구분하였다. 흉벽 가동화 기법 없이 보조적 중재만 적용한 연구는 제외하였다. 비교군(C)은 통상적 재활 치료, 위약 또는 기타 호흡 재활 중재로 설정하였다. 결과(O)는 주요 결과지표(primary outcomes)와 보조 결과지표(secondary outcomes)로 구분하였다. 주요 결과지표에는 흉벽 확장 지표, 폐기능 지표, 호흡근 근력 지표, 운동 능력 지표가 포함되었고, 보조 결과지표에는 호흡곤란 점수, 삶의 질, 그리고 이상반응 등이 포함되었다.

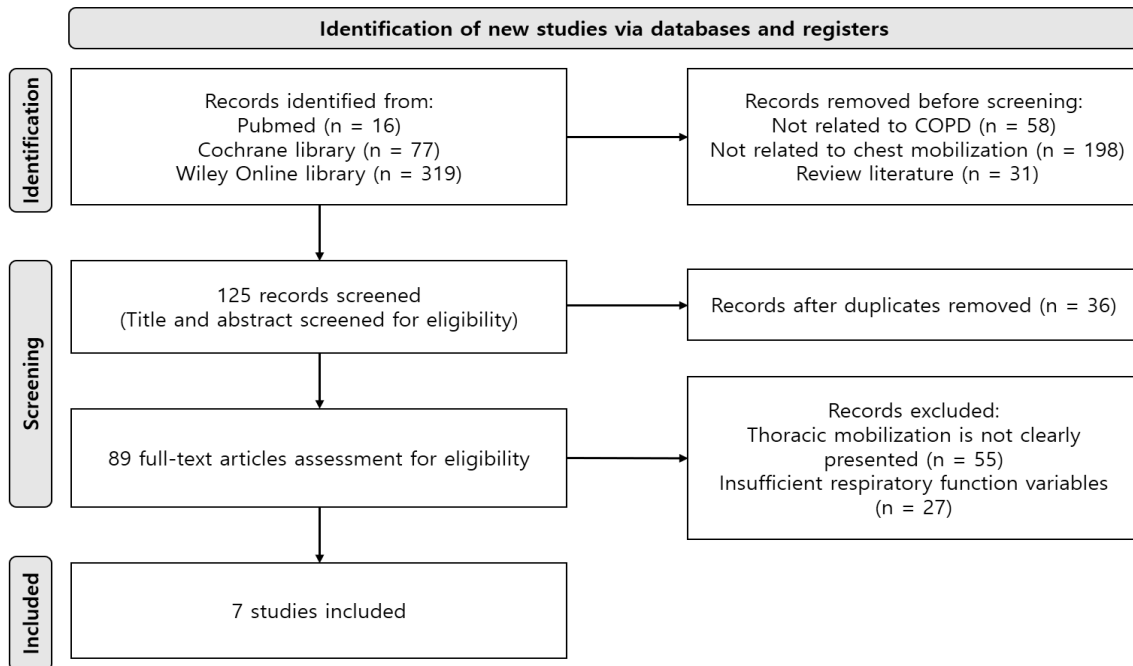


그림 1. PRISMA 연구 선정 흐름도

3. 문헌 검색 및 자료 수집

자료 수집은 2016년 3월부터 2025년 2월까지 해외 데이터베이스(Pubmed, the Cochrane library, the Wiley Online library)에 등록된 문헌들을 대상으로 하였고, 검색은 영어로 출판된 논문으로 제한하였다. 흉벽 가동화가 COPD에 미치는 영향과 관련된 연구들을 분석하기 위하여 출판 및 온라인 출판된 학술지 및 학위논문을 검색하였으며, 일부 문헌은 수기검색을 통해 추가하였다. 주요 검색 용어는 “COPD OR chronic obstructive pulmonary disease” AND “chest wall mobilization OR chest stretching OR chest mobilization OR thorax mobilization” AND “respiratory function OR pulmonary function OR lung function”이었고, 검색 결과 총 412편의 논문이 검색되었다.

4. 문헌선별 및 적격성 판단

본 연구의 PICO 선정기준에 근거하여 적합하지 않은 문헌 287편(COPD 재활과 직접적인 관련이 없는 연구 58편, 흉벽 가동화 관련 치료가 적용되지 않는 연구 198편, 체계적 고찰연구 31편)과 중복 문헌 36편을 제외하였다. 그 이후 89편의 문헌에 대한 적격성 평가를 진행하여 흉벽 가동화 기법이 명확하게 제시되지 않은 55편의 문헌과 호흡 기능을 평가하는 측정변수가 적절하지 않은 27편의 문헌을 제외하였고, 최종적으로 7편의 문헌을 선택하여 고찰하였다(그림 1).

5. 문헌의 질적 평가

선별된 문헌 7편의 연구 질을 평가하기 위해 Cochrane 협회에서 개발한 비뚤림 위험 평가 도구 2판(Risk of Bias 2.0, RoB 2.0)을 사용하였다(Higgins 등, 2011). 이 도구는 무작위 배정 과정, 의도된 중재로부터의 이탈, 결측 결과 자료, 결과 측정, 선택적 결과 보고 등 5개 핵심 영역에서의 비뚤림 위험을 체계적으로 검토한다. 각 영역별 위험도는 ‘낮은 위험(low risk)’, ‘일부 우려(some concerns)’, ‘높은 위험(high risk)’으로 분류하였다. 각 문헌의 비뚤림 위험 수준은 개별 영역 평가 결과를 종합하여 결정하였다. 각 영역에 대한 판단 기준은 부록 표 1에 제시하였다. 편향의 결과는 Robvis 시각화 도구(McGuinness와 Higgins, 2021)를 사용하여 그래픽 형태로 제시하였으며, 각 연구별 및 전체 연구의 편향 정도를 한눈에 확인할 수 있도록 하였다. 비뚤림 위험 평가는 논문의 주 저자와, 주 저자의 요청으로 참여한 외부 박사급 연구자가 독립적으로 수행하였다. 두 평가자 간 의견이 불일치한 경우, 논의를 거쳐 최종 결론을 확정하였다.

6. 자료 합성

본 고찰은 포함된 연구들 간에 이질성이 커서 정량적 합성이 적절하지 않았다. 구체적으로, 평가 지표가 크게 달라 기능적 운동능력(예: 6분 보행거리), 흉곽 확장 지표(예: 줄자를 이용한 흉곽둘레 측정), 호흡근 근력 지표(예: 최대흡기압, 최대호기압), 폐기능 지표(1초 강제호기량, 강제폐활량) 등으로 다양하게 보고

표 1. 선별된 문헌들의 일반적인 특성

Article (1st author, yr)	Age (yr)		M/F		FEV ₁ (%) predicted		GOLD stage	Place	Primary variables
	Exp (mean±SD)	Exp (n)	Exp (n)	Exp (n)	Exp(mean±SD)	Exp(mean±SD)			
	Con (mean±SD)	Exp (n)	Exp (n)	Exp (n)	Exp(mean±SD)	Exp(mean±SD)			
Wada, 2016	61.0±5.4	8/6			45.9±15.5		II ~ III	Hospital	Exercise capacity: 6MWT Thoracoabdominal kinematics: URC, LRC, ABD Lung function: FEV ₁ , FEV ₁ /FVC Respiratory muscle activity, mBorg scale
	64.0±5.6	7/7			42.6±9.5				
de Sa, 2017	61.8±8.3	11/3			48.8±18.9		II ~ III	Laboratory	Ventilatory pattern: RR, Ti, Te, Ttot, VT, MV Chest wall kinematics: Vrcp, Vrca, Vab, Veecw, Veercp, Veerca, Veeab, Veicw, Veircp, Veirca, Veiab Respiratory muscle activity
	62.4±8.3	10/4			50.6±18.3				
Rehman, 2020	53.1±8.5	15			49.6±12.7		II ~ III	Hospital	Chest expansion (axilla & xiphisternum level) Exercise capacity: 6MWT
	53.5±8.1	15			56.5±14.8				
Liu, 2021	68.1±1.7	22/6			47.3±1.5		II ~ III	Hospital	Respiratory symptoms: CAT, dyspnea VAS Pulmonary function: FVC, FEV ₁ , IC, IRV Exercise capacity: 6MWT Neck and shoulder mobilities
	68.0±1.7	22/5			47.4±1.1				
Tsui, 2023	75.0±6.3	30/0			30%≤FEV ₁ <50%		III	Hospital	Respiratory muscle strength: MIP, MEP Cervical and thoracic ROM Upper and lower thoracic excursion
Doi, 2024	61.9±6.0	20/0			-		-	Hospital	Chest expansion: 2nd ICS, 4th ICS, xiphoid process Incremental cycle exercise test: WR, MET, SpO ₂ , RPD
	62.05±6.1	20/0							
Tsui, 2025	75.0±6.0	15/0 15/0			30%≤FEV ₁ <50%		III	Hospital	Respiratory muscle activity Respiratory muscle tissue oxygen saturation: StO ₂ , StO ₂ slope

ABD: abdominal, CAT: COPD assessment test, Con: control group, CW: chest wall, Exp: experimental group, FEV₁: forced expiratory volume in 1 second, FVC: forced vital capacity, GOLD: global initiative for chronic obstructive lung disease, IC: inspiratory capacity, ICS: intercostal space, IRV: inspiratory reserve volume, LRC: lower ribcage, mBorg: modified Borg scale, M/F: male/female, MV: minute volume, MEP: maximal expiratory pressure, MET: metabolic equivalent, MIP: maximal inspiratory pressure, ROM: range of motion, RPD: rate of perceived dyspnea, RR: respiratory rate, SD: standard deviation, SpO₂: peripheral oxygen saturation, StO₂: tissue oxygen saturation, Te: expiratory time, Ti: inspiratory time, Ttot: total respiratory cycle Time, URC: upper ribcage, Vab: volume abdominal, VAS: visual analogue scale, Veeab: volume end-expiratory abdomen, Veecw: volume end-expiratory chest wall, Veerca: volume end-expiratory rib cage abdominal, Veercp: volume end-expiratory rib cage pulmonary, Veiab: volume end-inspiratory abdomen, Veirca: volume end-inspiratory rib cage abdominal, Veircp: volume end-inspiratory rib cage pulmonary, Veicw: volume end-inspiratory chest wall, Vrca: volume rib cage abdominal, Vrcp: volume rib cage pulmonary, VT: tidal volume, WR: work rate, 6MWT: 6-minute walk test.

되었다. 또한 중재 방법, 연구 설계, 결과 보고 형식의 차이로 인해 통계적 결합이 제한되었기 때문에, 본 연구에서는 서술 종합(narrative synthesis)을 통해 결과를 요약·해석하였다. 자료 합성은 중재 특성에 따라 세 가지 하위그룹으로 구분하여 수행하였다: (1) 수기치료 및 관절 가동을 포함한 중재, (2) 호흡근 스트레칭 또는 호흡근 PNF 스트레칭 중심 중재, (3) 다양한 호흡법 중심 중재. 이러한 분류는 각 기법이 호흡역학과 흉곽 움직임에

미치는 기전적 차이를 반영하기 위함이며, 분류된 하위 집단 내에서는 결과 지표를 질적으로 비교·종합하였다. 또한, 평가지표도 메인별로 중재 효과를 합성하였다: (1) 폐기능 지표, (2) 호흡근 근력 지표, (3) 흉벽 확장 지표, (4) 운동 기능 지표. 모든 합성은 정량적 추정치(pooled effect)를 제시하지 않고, 각 연구의 맥락과 방법론적 질을 고려하여 해석하였으며, 따라서 결과는 가설생성적(hypothesis-generating) 성격을 지닌다.

Ⅲ. 연구결과

1. 선별된 문헌의 일반적인 특성

본 고찰을 위해 선별된 문헌들의 일반적 특성을 표 1에 정리하였다. 총 271명의 COPD 환자들이 참여하였고, 대부분의 연구에서 GOLD II ~ III 단계의 COPD 환자를 대상으로 선정하였다. 선정된 COPD 환자들의 연령은 평균 53세 ~ 75세였고, 여성 환자들보다 남성 환자들의 비율이 월등히 높았다.

2. 문헌의 질적 평가 결과

각 문헌의 비폴림 위험(RoB 2) 평가는 그림 2에 요약하였다. 전반적으로 의도한 중재로부터의 이탈, 결측 결과자료, 선택적 결과보고는 양호하였다. 다만, de Sá 등(2017)의 연구에서만 EMG의 기술적 문제로 9건 데이터가 제외되어 일부 우려로 판단했다. 반면 무작위배정 과정과 결과 측정에서 우려가 두드러졌다. 무작위배정 과정의 경우 Rehman 등(2020)은 무작위배정·배정은닉의 근거가 없었고, Doi와 Shah(2024)도 무작위 분배 언급 외에 시퀀스 생성·은닉 절차가 구체화되지 않았다. 결과 측정에서는 줄자/테이프 기반 흉곽팽창 측정에서 평가자 블라인드 미기

재와 줄자 측정의 주관성으로 인해 일부 우려가 보고되었고, 특히 Doi와 Shah(2024)는 단회기 즉시효과 설계로 인한 측정자·피험자 기대효과 개입 가능성이 있어 높은 위험으로 판단하였다. 비폴림 위험에 대한 종합판정은 43%에서 편향 낮음으로, 29%에서 일부 우려로, 29%에서 편향 높음으로 요약된다(그림 3).

3. 하위그룹별 흉벽 가동화 중재 방법

본 연구에서는 포함된 7편의 무작위 대조군 연구를 중재 특성에 따라 세 가지 유형으로 분류하였다:

- (1) 수기치료 또는 관절가동을 포함한 중재,
- (2) 호흡근 스트레칭 또는 호흡근 고유수용성신경근촉진법 (Proprioceptive Neuromuscular Facilitation, PNF) 스트레칭 중심 중재,
- (3) 호흡법 중심 중재.

한편, 두 가지 이상의 기법을 병합하여 적용한 연구(Doi와 Shah, 2024)는 해당되는 각 하위 그룹에 중복 배정하였다.

첫 번째 그룹(수기치료/관절가동 포함 중재)에서는 치료사가 흉추 및 늑골의 가동성을 회복시키기 위한 다양한 수기 기법을 적용하였다(Rehman 등, 2020; Tsui 등, 2023; Doi와 Shah,

Study	Risk of bias domains					Overall
	D1	D2	D3	D4	D5	
Wada, 2016	+	+	+	+	+	+
de Sa, 2017	+	+	-	+	+	-
Rehman, 2020	X	+	+	-	+	X
Liu, 2021	+	+	+	+	+	+
Tsui, 2023	+	+	+	-	+	-
Doi, 2024	-	+	+	X	+	X
Tsui, 2025	+	+	+	+	+	+

Domains:
 D1: Bias arising from the randomization process.
 D2: Bias due to deviations from intended intervention.
 D3: Bias due to missing outcome data.
 D4: Bias in measurement of the outcome.
 D5: Bias in selection of the reported result.

Judgement
 X High
 - Some concerns
 + Low

그림 2. 포함된 개별 연구의 편향 위험 평가 (RoB 2)

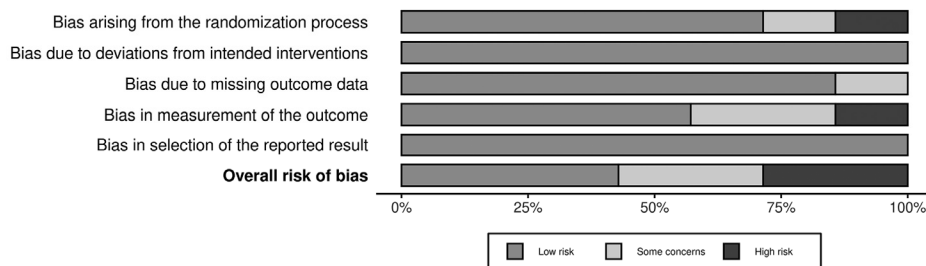


그림 3. 포함된 연구 전체의 편향 위험 요약 (RoB 2)

2024; Tsui 등, 2025). Maitland 기법의 비-충격성 관절 가동화가 반복적으로 시행되었으며, 흉추 신전-측굴-회전을 통한 흉곽 움직임 증진이 유도되었다. 또한 흉근 및 늑간근에 대한 수기이완, 능동 보조 스트레칭, 폼롤러나 벽 지지대를 활용한 교정 운동 등이 포함되었다(표 2).

두 번째 그룹(호흡근 스트레칭 또는 호흡근 PNF 스트레칭 중심 중재)에서는 호흡 보조근 및 흉곽 근육의 유연성 향상을 위해 수동적 또는 능동적 신장 기법이 적용되었다(Wada 등, 2016; de Sá 등, 2017; Liu 등, 2021). 흉쇄유돌근, 사각근, 대흉근, 승모근, 횡격막, 늑간근 등이 주요 대상으로, 호기 시점에 10-30초간 신장을 유지하는 방법이 사용되었다. PNF 스트레칭은 hold-relax 기법을 적용하여 근육의 등척성 수축 후 수동 신장을 시행함으로써 근신장성과 흉곽 가동범위를 향상시키고자 하였다(표 2).

세 번째 그룹(호흡법 중심 중재)에서는 흉벽 움직임을 간접적으로 촉진하기 위해 횡격막 호흡과 입술 오므리기 호흡이 적용되었다(Doi와 Shah, 2024). 횡격막 호흡은 코로 천천히 흡기하여 흉곽의 움직임은 최소화하고 복부가 용기되도록 유도하는 방식이다. 입술 오므리기 호흡은 입술을 좁게 오므려 호기 시간을 흡기의 약 두 배로 연장함으로써 기류 저항을 높이고 호기를 촉진하는 방법이다. 이러한 호흡 훈련은 흉곽 내압을 증가시켜 흉벽의 수동적 확장을 도모하는 데 목적이 있었다(표 2).

4. 하위그룹별 흉벽 가동화의 중재효과

본 연구에 포함된 7편의 중재효과는 표 3에 정리하였다. 하위 그룹별 치료효과를 검토하기 위해 중재방법을 분류하여 그 효과를 종합하였다. 첫 번째 하위그룹(수기치료·관절가동 포함)에는 Rehman 등(2020), Tsui 등(2023, 2025), Doi와 Shah(2024)의 네 편이 해당한다. 전반적으로 흉곽-흉추 가동화와 연부조직 이완을 포함한 프로그램은 흉벽 확장과 호흡근 기능을 유의하게 개선했다. Rehman 등(2020)은 흉곽 가동화+호흡운동 병행군에서 액와 수준 흉벽 확장에서 0.46 cm 증가($p=0.003$)를 보고했으나 검상돌기(xiphisternum) 수준은 유의하지 않음($p>.05$)을 확인했다. Tsui 등(2023)은 하부 흉곽(excursion)이 중재 직후 1.01 cm 증가하였고, 추적 3개월 시점에 최소 임상적으로 중요한 차이(Minimal Clinically Important Difference, MCID)를 초과하였다고 보고하였다. 반면 상부 흉곽 변화는 유의하지 않았다. 폐기능 지표(FEV_1 , FVC)는 군×시간 상호작용이 유의하지 않았으며($p>.05$), 호흡근력 평가 지표인 최대흡기압(Maximal Inspiratory Pressure, MIP)와 최대호기압(Maximal Expiratory Pressure, MEP)는 치료종료 후와 추적 3개월 시점에 대조군에 비해 유의한 개선을 보였다. Doi와 Shah(2024)는 테이프 측정 기준으로 제2늑간 지점에서 0.45 cm 증가, 제4늑간 지점에서 0.84 cm 증가, 검상돌기 지점에서 0.94 cm 증가하여

유의미한 흉벽 확장을 보고하였다(모두 $p=.0001$). Tsui 등(2025)은 치료 종료 후 늑간근 근활성도의 향상(운동검사 1·2사 분기)과 함께 운동 중 근산소포화도(StO_2) 감소 기울기의 완화를 확인하였으며($p<.001$), 이 변화는 3개월 추적에서도 유지되었고 보고했다.

두 번째 하위그룹(호흡근 스트레칭 또는 호흡근 PNF 스트레칭 중심)에는 Wada 등(2016), de Sá 등(2017), Liu 등(2021)이 포함된다. 이 하위그룹은 호흡근 유연성과 흉곽 가동성 증진에 초점을 두었고, 흉벽 운동학·호흡효율·운동지구력에서 의미 있는 결과가 관찰되었다. Wada 등(2016)은 광전자식 체적변동기록법(Optoelectronic Plethysmography, OEP)를 이용해 복부 구획용적(abdominal, ABD)이 248 mL 확장되었음을 확인하였다($p<.001$). 그러나 상·하부 늑골 구획(upper ribcage, URC/lower ribcage, LRC)은 유의하지 않았다($p>.05$). 같은 연구에서 환기 관련 지표(호기 유량, Expiratory Flow, EF/분당 환기량, Minute Ventilation, VE)가 유의하게 개선되었고(EF 110 mL/s 증가, VE 4.2 L/min 증가, 모두 $p<.001$), 운동 기능 지표인 6분보행거리(6-min walk distance, 6MWD)는 임상적으로 의미 있는 증가(33.2 m)를 보였다. de Sá 등(2017)은 흉곽 복부 용적(volume rib cage abdominal, Vrca) 0.01 L, 흉곽 폐구획 용적(volume rib cage pulmonary, Vrcp) 0.06 L의 증가와 함께(모두 $p<.05$) 보조 호흡근(흉쇄유돌근, 상부승모)의 근전도(electromyography, EMG) 감소를 보고하여(각각 $p=.043$, $p=.034$) 호흡 효율 개선을 시사했다. Liu 등(2021)은 호흡근 PNF 스트레칭과 유산소 운동 병행으로 6MWD 유의 증가($p<.05$)와 목·어깨 가동성 향상($p<.05$)을 보였으나, 폐기능에서는 군 간 FVC, FEV_1 차이가 유의하지 않았다($p>.05$).

세 번째 하위그룹(호흡법 중심)은 Doi와 Shah(2024)가 해당한다. 이 연구는 임상에서 흔히 쓰이는 입술 오므리기 호흡을 활용했는데, 단독은 흉벽 확장에 제한적이었고, 흉곽 가동화를 병행했을 때 유의하게 더 큰 개선이 나타났다(예: 제2·4늑간, 검상돌기 수준에서 각각 0.45, 0.84, 0.94 cm 증가, 모두 $p=.0001$). 즉, 자발적 호흡훈련 단독보다는 흉곽 가동화와 결합이 흉벽 운동학 개선에 더 효과적임을 시사한다.

5. 평가지표 도메인별 결과 요약

본 리뷰에 포함된 7편의 평가결과들을 폐기능, 호흡근 근력, 흉벽 확장, 운동기능 지표들로 분류하여 요약하였다(표 3). 첫째, 폐기능 지표에서는 FEV_1 , FVC의 평가 시점에 대한 군×시간 상호작용이 일관되게 유의하지 않은 연구가 있었고, 반면 운동 중 환기 특성을 반영하는 지표(예: EF, VE)는 개선을 보인 연구가 있었다. 즉, 정적 폐용적 변화는 불일치했으나, 환기 효율·기류 흐름을 나타내는 지표에서는 개선 방향이 관찰되었다. 측정 도구

표 2. 각 문헌의 중재 방법과 중재 결과

Article (1st author, yr)	Intervention	Intervention duration	Major purpose	Main findings
Wada, 2016	Exp. Treadmill exercise + Respiratory muscle stretching	12 weeks (2 session / week)	Effects of respiratory muscle stretching combined with aerobic exercise in patients with COPD	Improved ABD compartmental volume, functional exercise capacity (p<0.01) Decreased respiratory muscle effort required to obtain the same pulmonary volume (p<0.001) No difference in URC and LRC volumes (p>0.05).
	Con. Treadmill exercise + Upper and lower extremity muscle stretching			
de Sa, 2017	Exp. Respiratory muscle stretching	One session (20 min)	Immediate effects of respiratory muscle stretching on chest wall mobility in patients with COPD	Increases on the variations of Vrcp, Vrca and reductions on the variations of end-inspiratory Vrcp (p<0.05). Reduction in sternocleidomastoid and upper trapezium muscle activity (p<0.05)
	Con. Resting under the same conditions			
Rehman, 2020	Exp. Hot pack + Passive shoulder ROM movement + Respiratory muscle stretching	5 day (60 min / day)	Effects of passive respiratory muscle stretching on chest expansion and 6MWT	Increased chest expansion at the level of the axilla (p<0.05) and 6MWD (p<0.01). No difference in chest expansion at the level of the xiphisternum (p>0.05).
	Con. Hot pack + Passive shoulder ROM movement			
Liu, 2021	Exp. Basic Treatment + Aerobic exercise + Respiratory mscl PNF stretching	6 weeks (5 session / week)	Effects of combined PNF stretching for respiratory muscles and aerobic exercise on respiratory symptoms, pulmonary function, and neck/shoulder mobility	Improved CAT score, dyspnea VAS score, IC, IRV, 6MWT, head protraction ROM and shoulder flexion ROM (p<0.05). No difference in FVC and FEV ₁ (p>0.05) No significant associations between neck/shoulder mobility and FVC or FEV ₁ .
	Con. Basic Treatment + Aerobic exercise			
Tsui, 2023	Exp. Treadmill exercise + Chest wall mobilization (+ Home exercise - trunk ROM exercise & stretching)	6 weeks (2 session + Home exercise 3 session / week)	Cumulative and maintenance effects of chest wall mobilization on respiratory function	Improvements in respiratory muscle strength and thoracic excursion (p<0.01). Lower thoracic excursion is strongly associated with increase in MIP ($\beta=13.64$, p<0.001) and MEP ($\beta=16.23$, p<0.001).
	Con. Treadmill exercise + Rest lying comfortably (+ Home exercise - upper & lower extremity stretching)			
Doi, 2024	Exp. Chest wall mobilization+ Breathing exercise (Diaphragmatic breathing exercises, Pursed-lip breathing)	One session	Effects of chest mobilization exercise on upper, middle, and lower chest expansion	Improved chest-expansion at 2nd ICS, 4th ICS and xiphoid process (p<0.05).
	Con. Breathing exercise (Diaphragmatic breathing exercises, Pursed-lip breathing)			
Tsui, 2025	Exp. Chest wall and thoracic mobilization (+ Home exercise - thoracic & chest self stretching)	6 weeks (2 session + Home exercise 3 session / week)	Effects of chest wall mobilization on functional exercise capacity, respiratory muscle activity, and respiratory muscle tissue oxygen saturation in patients with severe COPD	Decreased in activity of scalene, SCM and IC muscle during exercise test. Decrease in StO ₂ (p<0.05) and greater decline in the slope of oxygenation dissociation (p=0.000). Maintained at 3-month follow-up.
	Con. Resting under the same conditions (+ Home exercise - upper & lower extremity stretching)			

ABD: abdominal, CAT: COPD assessment test, Con: control group, COPD: chronic obstructive pulmonary disease, CVA: craniovertebral angle, EF: expiratory flow, EMG: electromyography, EMG/CW: ratio of EMG to chest wall, Exp: experimental group, FEV₁: forced expiratory volume in 1 second, FVC: forced vital capacity, IC: inspiratory capacity, ICS: intercostal space, IRV: inspiratory reserve volume, LRC: lower ribcage, mBorg: modified Borg scale, MCID: Minimal Clinically Important Difference, MEP: maximal expiratory pressure, MIP: maximal inspiratory pressure, OEP: optoelectronic plethysmography, PNF: proprioceptive neuromuscular facilitation, ROM: range of motion, SCM: sternocleidomastoid, StO₂: tissue oxygen saturation, URC: upper ribcage, UT: upper trapezius, VAS: visual analogue scale, VE: minute volume, Vrca: volume rib cage abdominal, Vrcp: volume rib cage pulmonary, 6MWD: 6-min walk distance, 6MWT: 6-minute walk test. *Negative values indicate reduced respiratory effort and improved efficiency.

표 3. 평가지표 도메인별 결과 요약표

Outcome domain	Study (1st author, Year)	N (Exp/Con)	Between-group difference in change	Assessment methods
Pulmonary function	Wada, 2016	28 (14/14)	↑ EF(+110 mL/s; p<0.001), ↑ VE (+4.2 L/min; p<0.001)	OEP
	Liu, 2021	55 (28/27)	No differences in FVC (+3.4%) and FEV ₁ (+12.8%)(p>0.05)	Spirometry
	Tsui, 2023	30 (15/15)	No significant interaction between time and group in FEV ₁ and FVC (p>0.05)	Spirometry
Respiratory muscle strength	Tsui, 2023	30 (15/15)	↑ MIP (+17.07 cmH ₂ O, +14.80 cmH ₂ O; p=0.047), ↑ MEP (+17.40 cmH ₂ O, +18.20 cmH ₂ O; p=0.001) at post- and 3-month follow-up	Spirometry
	Wada, 2016	28 (14/14)	Significant time × group interaction (p<0.001) ↓ EMG/CW (*-68.2×10 ⁻³ mV/L; p=0.03)	EMG
	Tsui, 2025	30 (15/15)	↑ Intercostal muscle activity (1st and 2nd quarter of exercise testing) (-) the slope of StO ₂ at post-intervention (p<0.001), maintained at 3-month follow-up	
	Doi, 2024	40 (20/20)	↑ Chest-expansion at 2nd ICS (+0.45; p=0.0001), ↑ Chest-expansion at 4th ICS (+0.84; p=0.0001), ↑ Chest-expansion at xiphoid (+0.94; p=0.0001)	Tape measure
Chest wall expansion / kinematics	Tsui, 2023	30 (15/15)	↑ Lower thoracic excursion (+1.01 cm, +1.05 cm; p=0.035) at post-intervention and 3-month follow-up	
	Rehman, 2020	30 (15/15)	No significant in upper thoracic excursion Lower thoracic excursion: exceeded the MCID at 3-month follow-up ↑ Chest expansion at axilla (+0.46 cm; p=0.003) No significance in chest expansion at xiphisternum (p>0.05)	Tape measure
	de Sá, 2017	28 (14/14)	↑ Vrcp (+0.06 L), ↑ Vrca (+0.01 L), ↑ Vrcp% (+0.99%) & Vrca% (+0.15%) (all p<0.05), ↓ EMG (SCM, UT) during MIP (p=0.043, p=0.034)	OEP, EMG
Exercise capacity / functional outcomes	Wada, 2016	28 (14/14)	↑ ABD volume (+248 mL; p<0.001) No significance in URC and LRC (p>0.05)	OEP
	Liu, 2021	55 (28/27)	↑ 6MWD (p<0.05), ↑ Neck/shoulder mobility (p<0.05)	6MWT, CVA
	Wada, 2016	28 (14/14)	↑ 6MWD (+33.2 m; clinically significant)	6MWT, mBorg
	Rehman, 2020	30 (15/15)	↑ 6MWD (+35.04 m; p<0.001)	6MWT

ABD: abdominal, Con: control group, CVA: craniovertebral angle, EF: expiratory flow, EMG: electromyography, EMG/CW: ratio of EMG to chest wall, Exp: experimental group, FEV₁: forced expiratory volume in 1 second, FVC: forced vital capacity, ICS: intercostal space, LRC: lower ribcage, mBorg: modified Borg scale, MCID: Minimal Clinically Important Difference, MEP: maximal expiratory pressure, MIP: maximal inspiratory pressure, OEP: optoelectronic plethysmography, SCM: sternocleidomastoid, StO₂: tissue oxygen saturation, URC: upper ribcage, UT: upper trapezius, VE: minute volume, Vrca: volume rib cage abdominal, Vrcp: volume rib cage pulmonary, 6MWD: 6-min walk distance, 6MWT: 6-minute walk test. *Negative values indicate reduced respiratory effort and improved efficiency.

(Spirometry 또는 OEP)와 평가 맥락(안정 시 또는 운동 상황)이 민감도 차이에 영향을 주었을 것이라 해석된다.

둘째, 호흡근력(MIP/MEP)은 수기 가동화·스트레칭을 포함한 여러 연구에서 일관된 향상이 보고되었다. 더불어 늑간근 활성 패턴의 개선(운동 중 근산소포화도 저하의 완화 등)과 같은 지구

력·산소이용 관련 지표의 호전이 동반되었고, 일부 연구에서는 추적관찰 시에도 효과 유지가 확인되었다. 전반적으로 개선의 방향성과 지속성 모두 양호하며, 일치성이 높은 평가지표이다.

셋째, 흉벽 확장 지표(테이프 측정)와 흉벽 운동학/용적 분포(OEP)에서는 대체로 유의한 증가가 관찰되었다. 다만 부위별·구

부록 표 1. RoB 2의 도메인별 편향 위험 판단 기준

Domain	Low risk of bias	Some concerns	High risk of bias
1. Randomization process	Adequate randomization and concealment	Insufficient information on randomization	Non-random or predictable allocation
2. Deviations from intended interventions	Proper adherence and blinding	Minor deviations, unclear blinding	Major deviations or lack of blinding
3. Missing outcome data	Minimal or balanced missing data	Some missing data with unclear relationship to outcomes	High proportion of missing data, or outcome-related missingness
4. Measurement of the outcome	Valid tools, blinded assessment	Unclear blinding or minor issues	Unblinded or invalid measurement
5. Selection of the reported result	Outcomes match prespecified plan	No registration, unclear reporting	Selective or inconsistent reporting

획별 편중이 있어, 하부 흉곽/복부 구획이나 액와 수준에서의 증가는 비교적 일관적이었으나, 상부 흉곽이나 특정 해부학적 수준에서는 유의하지 않은 결과가 보고되기도 하였다. 측정부위와 도구에 따른 차이를 감안하면, 전반적 방향성은 ‘흉벽 가동성의 증가’로 나타나지만, 세부 분절에서는 이질성이 존재한다.

넷째, 운동 기능 지표인 6MWD 결과는 여러 연구에서 일관되게 향상되었고, 일부 기능적 가동성(예: 목·어깨) 지표도 개선 경향을 보였다. 즉, 흉벽 가동화·호흡근 중재로 인해 나타난 국소적(흉곽/호흡근) 변화가 실제 활동능력으로 전이되는 패턴이 확인된다.

평가지표 도메인별로 보면, 호흡근력과 흉벽 가동성/운동학은 개선의 방향성과 일치성이 높았고, 운동능력은 이에 부합하는 기능적 향상을 뒷받침했다. 반면 폐기능(특히 Spirometry 기반 용적 지표)은 개선의 일관성이 낮아, 단기간 중재만으로 구조적 폐용적 변화를 확인하기는 어려웠다. 포함된 문헌의 수가 적고 연구 설계와 중재 방법, 평가 지표에서 상당한 이질성이 존재하여, 결과를 일반화하기에는 근거 수준이 충분하지 않다. 따라서 본 결과는 흉벽 가동화 중재가 전반적으로 긍정적인 변화를 유도한다는 잠재력을 시사하지만, 현 단계에서는 조심스럽게 해석할 필요가 있다.

IV. 고찰

본 연구는 흉벽 가동화가 COPD에 미치는 영향을 체계적으로 고찰하여 중재 방법과 효과를 비교하였다. 선별된 대부분의 연구에서는 COPD 환자에게 흉벽 가동화 기법을 적용했을 때 흉벽 용적이 유의하게 증가하였으며, 분당 환기량과 호기 유량이 개선되고 재활 후 호흡근력이 감소하였다. de Sá 등(2017)은 단 한 번의 치료만으로도 흉벽 가동성과 호흡 패턴에 긍정적인 변화가 나타났음을 보고하여, 호흡근 스트레칭의 즉각적인 효과를 제시

하였다. 이와 유사하게 Wada 등(2016)은 호흡근 스트레칭이 근육 점탄성과 근방추 반응을 개선하여 근육 강직을 감소시킨다고 하였으며, 이는 6주 이상의 수동적 스트레칭이 COPD 환자의 근육 경직을 일시적으로 완화한다는 선행 연구(Montaldo 등, 2000)와 일치한다. 또한 Liu 등(2021)은 호흡근 PNF 스트레칭이 자율신경 억제 기전을 통해 근육 길이와 관절 가동범위를 개선할 수 있음을 보고하며, 폐 재활 훈련으로의 적용 가능성을 제시하였다.

Rehman 등(2020)의 연구에서는 흉부 확장의 개선이 흉골 하단(xiphisternum)보다 겨드랑이(axilla) 수준에서 더 크게 나타났는데, 이는 COPD 환자가 만성적인 폐 과팽창으로 인해 횡격막이 평평해지고 보조호흡근 의존도가 높아지면서 상부 흉곽의 움직임이 제한된다는 기존 보고(McKenzie 등, 2009)를 뒷받침한다. 이러한 결과는 호흡근 스트레칭이 상부 흉곽 가동성을 개선하는 데 기여할 수 있음을 보여준다. 흉벽 가동화 기법은 운동 기능 향상과도 밀접하게 관련되어 있다. Paulin 등(2003)은 호흡근 스트레칭이 COPD 환자의 기능적 운동 능력을 개선한다고 보고했으며, 이는 호흡근란의 감소와 6분보행거리 증가로 이어졌다(Holland & Nici, 2013). 실제로 Rehman 등(2020)은 실험군의 6분보행거리가 대조군보다 35.04 m 더 증가했으며, 이를 호흡근 스트레칭으로 인한 흉벽 가동성 개선과 경직 완화로 설명하였다. Liu 등(2021) 역시 호흡근 PNF 스트레칭을 통해 흉벽 확장을 유도하고 6분보행거리의 유의한 증가를 확인하였다. 이러한 근거를 종합하면, COPD 환자에게 흉부 근육, 흉곽, 척추 및 어깨의 가동성을 향상시키는 다양한 흉벽 가동화 기법은 포괄적 호흡 재활 전략의 유용한 수단으로 권장될 수 있다.

다만, 본 고찰에 포함된 세 편의 연구에서는 흉벽 확장을 테이프를 이용하여 측정하였는데, 이는 간편하고 임상적 활용도가 높지만 평가자의 주관적 개입 가능성이 크고 맹검(blinding)이 이루어지지 않아 결과 측정 편향의 위험이 있다. 실제로 이들 연구

에서는 대부분 유의한 흉벽 확장 개선이 보고되었으나, 이러한 효과가 실제 중재 효과를 반영한 것인지, 측정 편향의 결과인지는 명확하지 않다. 일부 부위에서는 통계적으로 유의하지 않은 결과도 보고되었는데, 이는 테이프 측정법의 민감성이 부족하여 미세한 변화를 포착하지 못했을 가능성이 있다. 따라서 흉벽 확장에 관한 결과는 임상적으로 고무적이지만, 해석 시 주의가 필요하며, 보다 객관적이고 정량적인 측정 도구의 사용이 요구된다.

Wada 등(2016)과 de Sá 등(2017)은 OEP를 이용하여 호흡근 스트레칭 효과를 평가하였고, 복부 구획 기여도의 증가와 흉곽 용적 개선이라는 객관적 결과를 제시하였다. OEP는 89개의 반사 마커를 이용해 흉복부 움직임을 3차원적으로 분석하는 비침습적 방법으로, 호흡 패턴에 영향을 받지 않고 오차가 적으며 정밀하고 재현성 있는 정량화가 가능하다는 장점이 있다(Massaroni 등, 2017). 이러한 특성은 향후 메타분석 및 정량적 비교 연구를 위한 표준화된 측정 도구로서 OEP의 활용 필요성을 뒷받침한다.

향후 연구에서는 흉벽 확장 효과를 보다 정확히 규명하기 위해 표준화된 측정법(OEP, 초음파, 모션 캡처 등)과 장기간 추적 연구가 필요하다. 또한, 연구마다 중재 강도, 빈도, 기간이 상이하여 효과 비교가 제한적이므로, 중재 용량을 체계적으로 규명할 수 있는 연구 설계가 요구된다. 환자군 특성에 따른 반응 차이(예: COPD 중증도, 호흡근 약화 정도, 동반 질환 유무) 역시 향후 연구에서 고려해야 한다. 마지막으로, 흉벽 가동화 기법이 단독 요법으로서 뿐만 아니라 호흡 훈련, 유산소 운동, 약물치료와 다학제적 통합 프로그램의 일부로 적용될 때의 효과를 검증하는 연구가 필요하다. 이러한 후속 연구들은 COPD 환자를 위한 근거 기반 맞춤형 재활 전략 수립에 중요한 기초자료가 될 것이다.

본 연구에는 몇 가지 한계가 존재한다. 첫째, 포함된 연구들은 표본 수가 제한적이었으며, 대부분 6주 미만의 단기 개입으로 이루어졌다. 또한 남성 대상자의 비율이 높거나 성별 정보가 보고되지 않은 경우가 있었고, 흉곽 확장 측정에 사용된 도구(테이프, OEP 등)의 차이와 수기치료·스트레칭·호흡법 간의 중재 구성 이질성도 존재하였다. 둘째, 대상자 또는 평가자에 대한 맹검이 구조적으로 어려운 연구 설계 특성상 편향 위험이 내재되어 있었다. 셋째, 출판 편향에 대한 정량적 평가가 이루어지지 않아 그 영향을 배제하기 어렵다. 넷째, 문헌 검색 시 3개의 데이터베이스만을 활용하였으므로 다른 데이터베이스에 색인된 관련 연구가 누락되었을 가능성이 있다. 마지막으로, 영어로 출판된 연구만을 포함하여 국내에서 수행된 관련 연구가 배제되었을 가능성이 있다.

그럼에도 불구하고 대부분의 연구에서 중재로 인한 근육통, 불편감, 통증 등 이상반응은 보고되지 않았으며, 중재는 전반적으로 안전하게 시행된 것으로 기술되었다. 이러한 결과를 종합할 때, 흉벽 가동화는 중증 COPD 환자의 재활 전략으로 활용될 수 있으며, 특히 고강도 운동에 대한 내성을 향상시켜 재활 효과를 극대화할 수 있는 잠재력을 지닌 중재로 판단된다.

V. 결론

선정된 7편의 무작위 대조군 연구들은 흉벽 가동성 개선을 위한 호흡근육과 몸통 스트레칭 또는 호흡법을 적용하였고, 호흡기계와 근골격계의 측정변수를 통해 흉벽 가동화 기법의 치료 효과들을 제시하였다. 이들 연구에서 규명한 흉벽 확장과 호흡 기능 개선의 기전은 호흡근육 및 조직들의 신장성 증가와 호흡근의 최적의 길이를 유도 호흡 효율성 개선이었다. 만성 폐쇄성 폐질환의 특징적인 병리학적 변화에는 호흡기계와 근골격계 간의 밀접한 상호연관성이 있으므로 이들을 위한 흉벽 가동화는 호흡 재활의 중요한 구성요소로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- Agusti A, Celli BR, Criner GJ, et al. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease 2023 Report: GOLD Executive Summary. *Eur Respir J*, 61(4);2300239, 2023.
- Akuzum F, Senel A, Polat B, et al. Physiotherapy interventions on chest wall mobility in obstructive lung diseases: a systematic review. *J Bodyw Mov Ther*, 38;368-374, 2024.
- Aliverti A. Chest wall mechanics in COPD. *Curr Respir Med Rev*, 4(4);240-249, 2008.
- Beaumont M, Forget P, Couturaud F, et al. Effects of inspiratory muscle training in COPD patients: a systematic review and meta-analysis. *Clin Respir J*, 12(7);2178-2188, 2018.
- de Sa RB, Pessoa MF, Cavalcanti AGL, et al. Immediate effects of respiratory muscle stretching on chest wall kinematics and electromyography in COPD patients. *Respir Physiol Neurobiol*, 242;1-7, 2017.
- Doi R, Shah S. The immediate effect of chest mobilization technique on chest expansion in patients of COPD. *Int J Sci Health Res*, 9(3);53-58, 2024.
- Engel RM, Gonski P, Beath K, et al. Medium term effects of including manual therapy in a pulmonary rehabilitation program for chronic obstructive pulmonary disease (COPD): a randomized controlled pilot trial. *J Man Manip Ther*, 24(2); 80-89, 2016.
- Gea J, Pascual S, Casadevall C, et al. Muscle dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease: update on causes and biological findings. *J Thorac Dis*,

- 7(10);E418-E438, 2015.
- Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD). Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: 2023 report. <https://goldcopd.org/2023-gold-report-2>, 2023.
- Gosselink R, Troosters T, Decramer M. Exercise training in COPD patients: the basic questions. *Eur Respir J*, 10(12);2884-2891, 1997.
- Higgins JP, Altman DG, Gotzsche PC, et al. The cochrane collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ*, 343;d5928, 2011.
- Holland AE, Nici L. The return of the minimum clinically important difference for 6-minute-walk distance in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*, 187(4);335-336, 2013.
- Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *PLOS Med*, 6(7);e1000100, 2009.
- Lim SJ, Kim JY, Lee SJ, et al. Altered thoracic cage dimensions in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Tuberc Respir Dis*, 81(2);123-131, 2018.
- Liu K, Yu X, Cui X, et al. Effects of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching combined with aerobic training on pulmonary function in COPD patients: a randomized controlled trial. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 16;969-977, 2021.
- Massaroni C, Carraro E, Vianello A, et al. Optoelectronic plethysmography in clinical practice and research: a review. *Respiration*, 93(5);339-354, 2017.
- McGuinness LA, Higgins JPT. Risk-of-bias VISualization (robvis): An R package and Shiny web app for visualizing risk-of-bias assessments. *Res Synth Methods*, 12(1);55-61, 2021.
- McKenzie DK, Butler JE, Gandevia SC. Respiratory muscle function and activation in chronic obstructive pulmonary disease. *J Appl Physiol* (1985), 107(2);621-629, 2009.
- Montaldo BC, Gleeson K, Zwillich CW. The control of breathing in clinical practice. *Chest*, 117(1); 205-225, 2000.
- Mou K, Chan SMH, Vlahos R. Musculoskeletal crosstalk in chronic obstructive pulmonary disease and comorbidities: emerging roles and therapeutic potentials. *Pharmacol Ther*, 257;108635, 2024.
- O'Donnell DE, Laveneziana P. Physiology and consequences of lung hyperinflation in COPD. *Eur Respir Rev*, 15(100);61-67, 2007.
- Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372;n71, 2021.
- Paulin E, Brunetto AF, Carvalho CRF. Effects of a physical exercises program designed to increase thoracic mobility in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Pneumol*, 29(5);287-295, 2003.
- Permadi A, Putra WA. Comparison of respiratory training methods for chest wall expansion in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Phys Educ Sport*, 18(4);2230-2234, 2018.
- Reddy RS, Alahmari KA, Silvian PS, et al. Reliability of chest wall mobility and its correlation with lung functions in healthy nonsmokers, healthy smokers, and patients with COPD. *Can Respir J*, 2019; 5175949, 2019.
- Rehman A, Ganai J, Aggarwal R, et al. Effect of passive stretching of respiratory muscles on chest expansion and 6-minute walk distance in COPD patients. *Int J Environ Res Public Health*, 17(18);6480, 2020.
- Siafakas NM, Vermeire P, Pride, NB, et al. Optimal assessment and management of chronic obstructive pulmonary disease (COPD). *Eur Respir J*, 8(8);1398-1420, 1995.
- Tsang MH, Cheing LYG, Tsui A. Chest wall mobilization techniques improves respiratory muscle function in patients with chronic obstructive respiratory diseases (COPD). *World Physiotherapy Asia Western Pacific Regional Congress 2022*, Hong Kong, 2022.
- Tsui AYY, Cheing GLY, Chau RMW, et al. Effect of chest wall mobilization on respiratory muscle function in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease (COPD): a randomized controlled trial. *Respir Med*, 220;107436, 2023.
- Tsui AYY, Cheing GLY, Chau RMW, et al. Benefits of chest wall mobilization on respiratory efficiency and functional exercise capacity in people with severe chronic obstructive pulmonary disease

-
- (COPD): a randomized controlled trial. *Respirology*, 30(2);124-133, 2025.
- Tzani P, Aiello M, Elia D, et al. Dynamic hyperinflation is associated with a poor cardiovascular response to exercise in COPD patients. *Respir Res*, 12(1); 150, 2011.
- Vogelmeier CF, Criner GJ, Martinez FJ, et al. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive lung disease 2017 Report: GOLD executive summary. *Am J Respir Crit Care Med*, 195(5);557-582, 2017.
- Wada JT, Borges-Santos E, Porras DC, et al. Effects of aerobic training combined with respiratory muscle stretching on the functional exercise capacity and thoracoabdominal kinematics in patients with COPD: a randomized and controlled trial. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 11;2691-2700, 2016.
- Yelvar GDY, Cirak Y, Demir YP, et al. Immediate effect of manual therapy on respiratory functions and inspiratory muscle strength in patients with COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 11;1353-1357, 2016.