Review Article

Annals of CardioPulmonary Rehabilitation 2023;3(1):9-18

흡기근 훈련

곽 소 영

영남대학교 의과대학 재활의학교실

Inspiratory Muscle Training

Soyoung Kwak, M.D., M.P.H., Ph.D.

Department of Physical Medicine & Rehabilitation, Yeungnam University Hospital, Daegu 42415, Republic of Korea

Abstract

Inspiratory muscle training (IMT) is a technique that aims to improve the function of the inspiratory muscles. Because inspiratory muscle dysfunction is closely related to dyspnea, which is the most salient exercise-limiting symptom of patients with chronic lung diseases, IMT has been thought to be able to reduce dyspnea and increase the functional capacity of the patients. IMT was initially examined for its effectiveness mainly on patients with chronic obstructive pulmonary disease, then its application has gradually been expanded to various disorders which could cause dyspnea. This review will summarize the current evidence of IMT in patients with various disorders, then describe how IMT is applied in clinical settings.

Key Words

Inspiratory muscle training, Pulmonary rehabilitation, Chronic obstructive pulmonary disease, Chronic respiratory disease

서 론

숨을 쉬는 행위는 호흡근의 조화로운 움직임에 의해서 이루어진다. 호흡근의 기능에 문제가 생기면 환기량이 저하되고, 그로 인해 가스 교환의 장애가 생길 수 있으며, 더 나아가서는 세포 수준에서의 호흡저하가 발생할 수 있다[1]. 호흡근은 흡기근(inspiratory muscle)과 호기근(expiratory muscle)로 나누어지는데 숨을 들이마시는 행위는 흡기근이 수축하면서 이루어지는 반면, 숨을 내쉬는 행위는 안정 시의 경우 수축했던 근육들이 이완하면서 자연스럽게 발생한다. 호흡근, 특히 흡기근의 기능이상은 폐질환 환자들의 운동 능력과 삶의 질을 저하시키는 주요한 요인인 호흡곤란과 밀접하게 연관되어 있다[2,3]. 특히 만성 폐질환이 있는 환자들의 경우에 폐의 과다팽창(hyperinflation), 저산소혈증, 고탄산혈증, 염증, 영양실조, 장기간의 스테로이드제 복용, 신체활동 부족, 근섬유의 적응으로 인한 근섬유의 아형(type) 변화 등이 동반되어 있을 수 있으며, 이런 각각의 요소들은 호흡근의 기능부전에 영향을 줄 수 있다[2-4].

접수일 : 2023년 7월 2일 | 게재 승인일 : 2023년 7월 17일

https://doi.org/10.53476/acpr.2023.3.1.9

교신저자 : 곽소영

42415 대구광역시 남구 현충로 170 영남대학교병원 재활의학과

Tel : 82-53-620-3270, Fax : 82-80-623-8001, Email: sk315@ynu.ac.kr

흡기근은 골격근에 해당되므로, 사지의 근육과 마찬가지로 적절한 강도로 지속적인 운동을 시행하면 흡기근의 근력과 지구력이 향상되는 훈련 효과(training effect)가 나타난다. 만성 폐질환 환자를 비롯한 다양한 질환을 가진 환자들에게 흡기근 훈련을 시행하여 환자들의 호흡곤란을 줄이고 운동 능력을 향상시키려는 시도는 1980년대부터 시작되어왔으며 2000년대 들어 더욱 활발하게 이루어지고 있다[5]. 본 종설에서는 다양한 흡기근 훈련의 효과에 대해서 알아보고, 임상에서 흡기근 훈련을 시행하는 방법에 관해 간략하게 살펴보고자 한다.

본 론

1) 흡기근 훈련의 효과에 대한 근거

(1) 만성 폐쇄성 폐질환(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)

만성 폐쇄성 폐질환은 기류 제한과 지속되는 호흡기 증상을 보이는 질환이다. 폐의 과다팽창(hyperinflation)으로 인해 횡격막은 정상 상태에 비해 길이가 짧아지게 되고, 따라서 횡격막이 수축함으로써 발생시킬 수 있는 압력이 감소하게 되며, 이와 함께 호흡근은 수축할 때 더 높은 탄성과 저항을 이겨야 한다. 이러한 호흡기계의 역학적인 불리함이 환자들에게 호흡곤란, 특히 운동성 호흡곤란을 유발하게 된다[6]. 호흡근 훈련은 호흡근의 근력을 향상시켜 흡기 시 흉강 내 음압을 발생시키는 능력을 증진시키고, 호흡근의 지구력을 향상시켜서 피로도를 줄임으로써 환자들에게서 호흡근의 기능을 향상시키고 운동 능력을 증진시킬 수 있다고 생각된다.

1980년대부터 만성 폐쇄성 폐질환 환자들에게 호흡근 훈련을 시행한 다양한 연구들이 시행되었고 폐기능의 향상, 삶의 질 향상, 호흡곤란의 감소, 운동 능력 향상 등을 보고했지만, 연구에 따라서 다양한 정도의 효과들이 보고되었다. 따라서 좀 더 전체적인 호흡근 훈련의 효과를 평가하기 위해 1992년 이후로 여러 차례 메타분석 연구가 진행되었다. 1992년에 처음 시행되었던 메타분석 연구는 그 당시까지 시행되었던 총 17개의 무작위배정 연구를 포함하였고 호흡 근력의 향상이나 호흡근의 지구력, 운동기능, 기능 상태 등의 결과에 유의미하지 않거나 적은 효과 크기를 보였지만, 목표한 호흡근 부하를 설정하여 적절한 부하를 가하여 시행한 연구들만 포함한 하위군 분석(subgroup analysis)에서는 좀 더 일관적으로 호흡근 훈련이 효과가 있었음을 보고하였다[7]. 이후 2002년에 시행된 메타분석 연구에는 호흡근 훈련 시 호흡근 부하를 적절하게 제어하면서 무작위 대조 시험으로 시행한 연구들만 포함되었으며, 결과적으로 포함된 15개의 개별 연구에서는 시험군에게 적어도 최대 호기압의 30% 이상의 부하를 주는 흡기근 훈련을 시행하였고, 시험군은 모두 위훈련(sham training)을 시행한 대조군이나 훈련을 시행하지 않은(no training) 대조군과 비교하였다[8]. 이후 2011년 Gosselink 등[5]이 시행한 연구에서는 총 32개의 무작위 대조 시험이 포함되면서 총 830명의 대상자들이 시험군에 430명, 대조군에 400명이 포함되었으며, 분석 결과 호흡근 훈련은 단독으로 시행되었을 경우에나 호흡재활 운동과 함께 시행되었을 경우에나 유의미하게 흡기근의 근력과 지구력을 향상시키고, 호흡곤란의 증상을 호전시키는 것으로 나타났으며, 운동 능력은 향상되는 경향을 보이긴 했으나 통계적으로 유의미한 수준에 도달하지는 못하였다.

이후 2018년 Beaumont 등[9]이 시행한 메타분석 연구에서는 역치를 설정할 수 있는 기구(threshold device)를 이용하여 호흡근 훈련을 시행하였던 연구만을 포함하였으며, 호흡근 훈련을 단독으로 시행하였을 경우에는 흡기근 근력, 운동 능력, 삶의 질이 개선되었고 호흡곤란 증상도 경감되었으나, 호흡재활 운동과 병행하여 시행된 경우에는 호흡재활 운동을 단독으로 시행한 경우에 비해 부가적인 이점은 없는 것으로 분석되었다. 마찬가지로, 2023년 Cochrane review 역시 흡기근 훈련이 단독으로 시행되었을 경우 호흡곤란 증상, 운동 능력, 및 삶의 질이 호전을 보였지만, 호흡재활 운동과 함께 시행했을 때는 단독으로 시행한 경우에 비해서 유의미한 부가적인 이점은 없었음을 보고하였다[10]. 이에 기반하여 American Thoracic Society/European Respiratory Society에서 발간한 진료지침 역시 흡기근 훈련에 대해서 단독으로 시행하였을 경우 호흡곤란의 완화, 호흡 근력의 향상, 폐기능의 개선, 삶의 질 향상에 효과적일 수 있으나, 일반적인 전신 운동인 호흡재활 운동에 병행하였을 때 부가적인 이점은 없었음을 명시하였다[11]. 마찬가지로 British Thoracic Society의 호흡재활 진료지침 역시 흡기근 훈련을 호흡재활 운동에 일률적으로 포함시키는 것을 권고하지 않고 있다[12]. 물론 가용할 수 있는 자원과 시간에 제한이 있다는 점에서는 가능한 한 가장 효과적인 구성 요소들을 포함하여 구성하는 것이 필요하므로 부가적인 이점이 명확하지 않은 운동에 너무 많은 시간과

노력을 기울이지 말아야 하겠지만[13], 흡기근 훈련이 좀 더 일반적인 전신운동인 호흡재활 운동과 병행하였을 때 부가적인 이점이 없다는 결과에 대해서는 좀 더 세심한 주의를 기울여 해석할 필요성이 있다.

또한 2023년 Cochrane review에서도 언급되었던 것처럼 호흡근의 근력저하가 있는 환자들에게서 흡기근 훈련이 더 큰 효과가 있는지, 또 더 긴 기간 동안 훈련을 시행하면 더 큰 효과가 있는지에 대해서는 개별 연구 수준에서는 유의미한 결과를 보고한 적도 있으나, 아직 메타분석을 통해서 명확한 결론을 내리기는 어려운 상태로 이에 대한 더 많은 후속 연구들이 필요하다[10].

이러한 근거와 임상적인 경험을 바탕으로 흡기근 훈련은 호흡근의 근력저하가 있고, 호흡곤란이 기능 저하의 주된 원인인 만성 폐쇄성 폐질환 환자들을 선별하여 일반적인 전신운동인 호흡재활 운동에 병행하여 시행하는 것이 권고된다.

(2) 천식(asthma)

천식 환자들에게서 흡기근 기능의 향상은 천식 발작이 있을 때 호흡근이 과부하되는 것을 예방할 수 있으며 동적인 과팽창(dynamic hyperinflation)으로 인한 호흡곤란 증상을 경감시켜 줄 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 2013년에 발표된 Cochrane review에서는 흡기근 훈련이 최대흡기압(maximal inspiratory pressure, MIP)을 향상시킨 것 외에는 증상이나 약물치료에 대한 의존도를 개선시키지 못했던 것으로 나타났다[14]. 하지만 이런 결과는 천식 환자만을 대상으로 하는 연구의 수가 매우 적어서 총 113명의 환자를 대상으로 한 5개의 무작위 대조 시험만이 메타분석에 포함되었고, 대부분 증상이 경미하거나 중간 정도에 해당하는 환자들을 포함하였기 때문이었을 수 있으므로, 흡기근 훈련이 천식 환자에게 별다른 효용이 없는 것으로 해석해서는 안 된다. 2018년 Duruturk 등[15]이 시행한 흡기근 훈련의 무작위 대조 시험에 의하면 흡기근 훈련이 호흡근의 근력을 향상시킬 뿐만 아니라 운동 기능, 삶의 질, 일상생활 동작 수행 능력을 개선시키고 호흡곤란과 피로를 감소시키는 것으로 나타났다. 그러나 이 연구 역시 시험에 포함된 환자 수가 38명으로 매우 적은 편이었기 때문에, 천식 환자에게서 흡기근 훈련의 효과를 정확히 평가하기 위해서는 향후 잘 설계된 다기관 대규모 연구가 추가로 필요하다. 특히 만성 폐쇄성 폐질환 환자의 경우에도 중증도가 더 높고 호흡 근력의 약화가 있는 환자들에게서 흡기근 훈련이 더 효과적이었던 점을 고려한다면, 중증도가 높은 지속적인 천식 증상을 가진 환자들을 포함하여 연구를 설계하는 것이 천식 환자에게 흡기근 훈련이 효과적인지 검증하는 데 중요할 것으로 생각된다.

(3) 간질성 폐질환(interstitial lung disease)

간질성 폐질환이 있는 환자들은 폐의 유순도가 저하되므로 호흡을 하는 동안 더 많은 부하를 이겨내야 하지만, 만성 폐쇄성 폐질환 환자들과 비교했을 때 호흡근, 특히 횡격막의 기계적인 불리함은 덜한 편이다[16]. 따라서 안정 시 측정한 최대흡기압이나 최대자발성환기량(maximum voluntary ventilation, MVV)은 만성 폐쇄성 폐질환 환자들에 비해 양호한 소견을 보인다고 알려져 있다[17,18]. 아직 간질성 폐질환 환자에서 흡기근 훈련을 단독으로 연구한 문헌은 드물지만, 몇몇 연구들이 흡기근 훈련이 단독으로, 또는 보다 일반적인 호흡재활 운동에 포함되어 시행되었을 때 간질성 폐질환 환자에게서 흡기근의 근력뿐만 아니라 운동 능력, 6분 보행 거리, 삶의 질, 호흡곤란 증상이 유의미하게 호전이 있음을 보고하였다[19-21]. 간질성 폐질환 환자에서 흡기근 훈련의 효과를 보다 정확히 판정하고, 어떤 환자들에게서 가장 부가적인 이익이 큰지 밝혀 내기 위해서는 향후 잘 설계된 대규모 다기관 무작위 대조 연구가 필요하다.

(4) 심부전(heart failure)

심부전 환자들에게서 운동 능력이나 기능 수준이 떨어지는 일차적인 원인은 심장 기능의 저하이지만, 호흡근 기능 이상 역시 환자들의 운동 능력 저하와 호흡곤란에 영향을 미칠 수 있다[2,22]. 심부전 환자들에게서는 심실 기능 부전으로 인한 이차적인 폐기능의 저하, 좌심실 비대, 만성적인 폐부종(pulmonary congestion), 폐의 유순도 감소 및 기도 저항 증가 등이 발생하고, 이런 증상들이 환자들의 호흡 패턴을 변화시켜 호흡곤란, 특히 운동성 호흡곤란을 유발한다[23,24]. 결과적으로 호흡근에 가해지는 부하(호흡일량, work of breathing)가 증가되고, 이는 호흡근의 피로로 이어질 수 있다[25].

심부전 환자들에게서 흡기근 훈련은 호흡근의 근력과 지구력을 향상시키고 운동 능력을 향상시키며, 호흡곤란을 경감시키고 삶의 질을 개선한다고 알려져 있다[26-28]. 이에 더해 최근에는 흡기근의 근력 약화가 동반되어 있는 심부전 환자에게 흡기근 훈련을 시행하면 산소 섭취의 효율을 증가시킬 수 있다고 보고되었으며, 4주간 흡기근 운동을 시행하면 운동

시 사지의 혈류량이 개선된다는 연구 결과도 발표되었다[29]. 이는 흡기근 훈련이 호흡근의 과부하를 경감시켜서 환자들의 주된 운동 제한 요인 중 하나인 말초 근육의 혈관 수축을 줄이기 때문인 것으로 생각된다.

이와 같은 근거로 미루어 판단할 때, 흡기근 훈련은 심부전 환자에게서 시행할 수 있는 안전하고 효과적인 운동으로, 특히 전신 기능 저하로 일반적인 운동 치료에 참여하기 어려운 환자들도 참여할 수 있다는 점에서 특히 효과적인 운동이 될 것으로 기대된다.

(5) 경수 손상으로 인한 사지마비(tetraplegia)

경수 손상으로 사지마비가 발생하면 흡기근 및 호기근의 마비와 피로가 발생할 수 있다[30]. 선행 연구들이 경수 손상 환자에게서 호흡근을 훈련시켜 호흡기계 합병증을 줄일 수 있는지 연구하였으며, 2013년 Cochrane review에서는 총 212명의 경수 손상 환자를 대상으로 한 11건의 연구를 분석하여 호흡근 훈련(흡기근 및 호기근)을 시행한 경우, 최대흡기압과 최대호기압이 호전되어 호흡근의 근력이 호전되었고, 폐활량에서도 유의미한 효과가 있었음을 보고하였다. 그러나 호흡곤란, 호흡기 합병증, 입원 및 삶의 질에 대한 효과는 데이터가 불충분하여 분석할 수 없었으므로 이에 대해서는 향후 더 많은 연구가 필요하다[30]. 2020년 Boswell-Ryus 등[31]은 62명의 사지마비 환자를 대상으로 하여 이중 맹검 무작위 대조시험을 시행하여 6주간에 걸쳐 호흡근 강화 운동을 시행하여 운동을 시행한 경우 임상적으로 유의미한 수준의 흡기근의 근력 강화와 삶의 질의 개선, 호흡곤란의 경감이 있었음을 보고하였으나 호흡기계의 합병증이나 입원율에 감소가 있었는지에 대해서는 유의미한 효과를 밝혀낼 수 없었다.

(6) 신경 근육 질환

신경 근육 질환은 일차적인 병변이 근육, 신경, 또는 신경근 접합부 중 어디에 존재하는지와 관계없이 호흡근의 근력 저하를 초래할 수 있으며, 이러한 호흡근의 기능이상이 나타나는 기전은 기저 질환에 따라 다르지만, 모두 호흡부전을 비롯한 다양한 호흡기계 합병증을 초래할 수 있다. 신경 근육 질환 환자들에게서 흡기근 훈련을 시행하는 이론적인 근거는 흡기근 훈련으로 흡기근의 근력이 호전되면 호흡기 합병증과 호흡부전의 발생을 최대한 지연시킬 수 있을 것이라는 가정에 바탕을 두고 있다[32]. 2019년에 시행된 Cochrane review에서는 총 250명의 신경 근육 질환 환자를 대상으로 호흡근 훈련을 시행한 11개의 연구를 분석하였다[33]. 연구에 따르면 근위축성 측삭 경화증의 경우 흡기근 훈련이 환자들에게서 노력성 폐활량을 개선시켰으나, Amyotrophic Lateral Sclerosis Functional Rating Scale로 측정한 질환의 진행 정도에는 영향을 미치지 못하였으며, 삶의 질에도 유의미한 개선 효과는 없었다고 보고하였다. 그러나 개별 연구 중에서는 근위축성 측삭 경화증 환자에게 흡기근 훈련을 시행하였을 때, 폐기능의 호전뿐만 아니라 질환의 진행을 지연시켜 더 오래 생존하게 하는 효과가 있었음을 보고하였던 연구도 있었다[34].

듀센 근이영양증의 경우 2019년 Cochrane review 결과, 일부 연구에서는 호흡근 훈련을 시행한 군에서 위훈련(sham training)을 시행한 군보다 총폐용적이 증가하였음을 보고하였으나, 나머지 연구에서는 유의미한 차이가 보이지 않아 효과에 대한 확실한 판단을 하기 어려웠다[33]. 특히 듀센 근이영양증의 경우에는 일부 연구에서는 호흡근 훈련 이후 폐기능이 유의하게 좋아졌음을 보고하기도 하였으나, 운동 시 근육을 보호하는 기전인 일산화질소를 방출하는 기전이 환자들에게서 손상되어 있을 수 있다는 연구 결과가 있었기 때문에[35,36] 2004년과 2009년에 American Thoracic Society에서 발간한 듀센 근이영양증 환자의 호흡 관리에 대한 성명서에서도 호흡근 훈련은 보다 확실한 근거가 마련될 때까지 보류하기로 하여 권고 사항에 포함되지 않았으며[37,38], 2018년에 DMD Care Considerations Working Group에서도 호흡근 훈련은 권고에 포함하지 않고 있다[39]. 듀센 근이영양증 환자에게 호흡근 훈련의 효과를 밝히기 위해서는 잘 설계된 대규모 연구들이 추가로 필요할 것으로 판단된다.

(7) 인공호흡기 이탈

인공호흡기 치료는 자발 호흡만으로는 정상적인 가스 교환을 기대할 수 없는 환자들에게 생명을 구하기 위해 사용되는 매우 중요한 치료 방법이다. 인공호흡기 치료를 받으며 중환자실에 장기간 재원하는 환자들의 경우 중환자실 획득 쇠약(intensive care unit-acquired weakness)이라고 부르는 다발성 신경병증과 근병증이 혼합된 형태로 나타나는 근위약을 경험하게 된다. 중환자실 획득 쇠약은 특징적으로 사지의 근위부에서 대칭적으로 나타나는 근육의 약화 및 탈조건화의 형태와 호흡근의 근력저하로 나타난다[40]. 호흡근에서 근력저하는 인공호흡기의 사용과 밀접한 관련을 가지고 있는데, 인공호흡기가 자발 호흡을 대체하면서 가장 중요한 호흡근인 횡격막이 빠르게 위축되고 근섬유의 길이에 변화가 생긴다는

것이 보고되어 있다[41]. 이런 환자들에게 흡기근 훈련을 시행하여 횡격막에 어느 정도의 부하를 가해준다면 흡기근의 근력과 지구력을 증진시킬 수 있고, 결과적으로 인공호흡기에서 잘 이탈할 수 있는 데 도움이 될 것이라는 가정하에 그 효과를 검증하는 연구들이 시행되어 왔다. 2011년에 Moodie 등[42]이 체계적 문헌고찰을 통해 그때까지 발표되었던 연구들을 분석했을 때, 흡기근 훈련을 시행한 환자들에게서 호흡근의 근력을 나타내는 최대흡기압은 유의미하게 높았으나 그 외에 인공호흡기 이탈까지 걸린 기간, 이탈 성공 여부, 재원 기간 및 생존율 등에는 유의미한 효과를 발견할 수 없었다. 이후 2015년에 시행된 메타분석 연구에서는 흡기근 훈련이 흡기근의 근력을 향상시키고, 빠르고 얕은 호흡의 빈도를 낮추고 인공호흡기 이탈의 성공률을 높이는 것을 발견했다[43]. 2020년에 시행된 네트워크 메타분석 연구에서는 흡기근 훈련과 조기 보행 훈련, 그리고 고식적인 재활치료의 효과를 비교하였다[44]. 총 934명의 환자를 포함하는 18개의 무작위 대조 시험이 분석에 포함되었고, 고식적인 재활치료만 시행했던 군에 비해 흡기근 훈련을 고식적 재활치료에 병행하여 시행했던 군에서 인공호흡기 이탈 기간이 유의하게 짧았고(95% CI: −4.76 to −0.45), 고식적인 재활치료에 흡기근 훈련과 조기 보행 훈련까지 모두 시행하였던 군에서 인공호흡기 이탈 기간 및 인공호흡기 치료 기간을 가장 효율적으로 단축시킬 수 있었던 것으로 보고되었다[44].

(8) 삼킴 곤란

삼킴 곤란이 있는 환자들에게서 호흡근 훈련의 효과는 뇌졸중이나 파킨슨병, 다발성 경화증 등과 같은 중추신경계 질환이 있는 환자들을 중심으로 잘 밝혀져 있다. 삼킴 곤란 증상이 있는 중추신경계 질환 환자들의 삼킴 곤란의 특징으로는 삼킴 반사의 지연, 인두 근육의 연동운동의 저하, 혀 움직임의 저하, 후두 폐쇄 부전 등이 보고되어 있다[45]. 삼킴과 호흡은 같은 해부학적 구조물을 공유하여 이루어지며 모두 뇌간에서 조절되고, 삼킴 과정에서 삼킴과 호흡이 밀접하게 조절될 필요가 있다[46]. 기침 유량이 감소하면 적절한 기도 보호가 이루어지지 않으므로 흡인의 위험성이 높아지고 흡인성 폐렴의 위험도 증가하게 되는데, 뇌졸중 환자들의 경우 호흡근의 약화와 중추신경계 병변에 의한 조절 능력의 감소로 인해 삼킴 장애가 발생하고 호흡근의 약화 및 기침 유량의 감소가 발생한다. 그러므로 이러한 환자들에게서 호흡근 훈련을 시행하면 흡인의 위험을 줄이고 호흡기계 합병증의 발생 빈도를 낮추어 기침의 기도 보호 효과를 높이고 삼킴 기능을 개선할 수 있다. 이전에 시행된 연구들은 특히 호기근 훈련이 뇌졸중 환자에게서 호흡 근력과 기침의 효율을 개선시키고 삼킴 곤란에도 유의미한 개선 효과가 있다는 결과를 보고하였지만[47,48], 흡기근 훈련을 시행하여 노력성 환기량이 증가하면 기침 유량 역시 증가할 수 있기 때문에 다수의 연구에서는 호기근과 흡기근 운동을 함께 시행하여 삼킴 곤란을 개선할 수 있는지를 검증하였다. 2021년에 Zhang 등[49]이 시행한 메타분석 연구에서는 뇌졸중 이후 삼킴 곤란이 있는 환자들에게 호흡근 훈련이 호흡기계 합병증의 위험성을 낮추고, 특히 액체를 섭취할 때 기도 침투(penetration) 또는 흡인(aspiration)을 감소시켜 삼킴 곤란을 개선시킬 수 있다는 것이 밝혀졌다. 또한 2020년 Rodriguez 등[50]이 시행한 메타분석 연구는 호흡근 훈련이 파킨슨병 환자들에게 있어 호흡 근력뿐만 아니라 호흡곤란, 삼킴 곤란 및 발성 기능도 개선시킬 수 있다고 보고하였다.

2) 흡기근 훈련의 방법

(1) 환자 평가

흡기근 훈련을 시행하기 전에 평가해야 할 항목으로는 흡기근의 기능 평가가 가장 중요하며, 흡기근 훈련의 임상적인 효과를 측정하기 위해서 호흡곤란의 정도, 운동 능력, 삶의 질 등도 평가에 포함할 수 있다. 흡기근의 근력은 최대흡기압(혹은 최대정적흡기압, maximum static inspiratory pressure)으로 측정할 수 있다. 검사에는 환자의 의지가 필요하기 때문에 환자가 검사 방법을 잘 이해하고 적극적으로 협조할 필요가 있으며, 검사자가 적극적으로 환자를 독려할 필요가 있다. 보통 환자가 검사 방법에 익숙해지면 좀 더 좋은 결과가 나오기 때문에 검사를 시행하기 전에 수차례 연습을 해 볼 필요가 있다[51]. 보통 검사는 앉은 자세에서 마우스피스를 입에 물고, 노즈 클립(nose clips)을 이용하여 코를 막은 상태에서 시행한다. 플랜지가 달린 마우스피스(flanged mouthpieces)를 이용하여 검사를 시행할 수도 있는데, 플랜지가 달린 쪽이 일반 마우스피스에 비해 약간 압력이 낮을 것이라고 추측할 수 있지만, 임상에서 환자의 호흡근을 측정하는 데는 문제가 없다고 알려져 있다[52]. 환자가 검사 방법에 어느 정도 익숙해졌다고 검사자가 판단하면, 마우스피스를 문 채로 최대 강도로 숨을 깊이 들이쉬는 것을 세 번 시행하여 각각의 측정값들이 10% 이상 차이가 나지 않을 때 측정치들 중에서 최댓값을

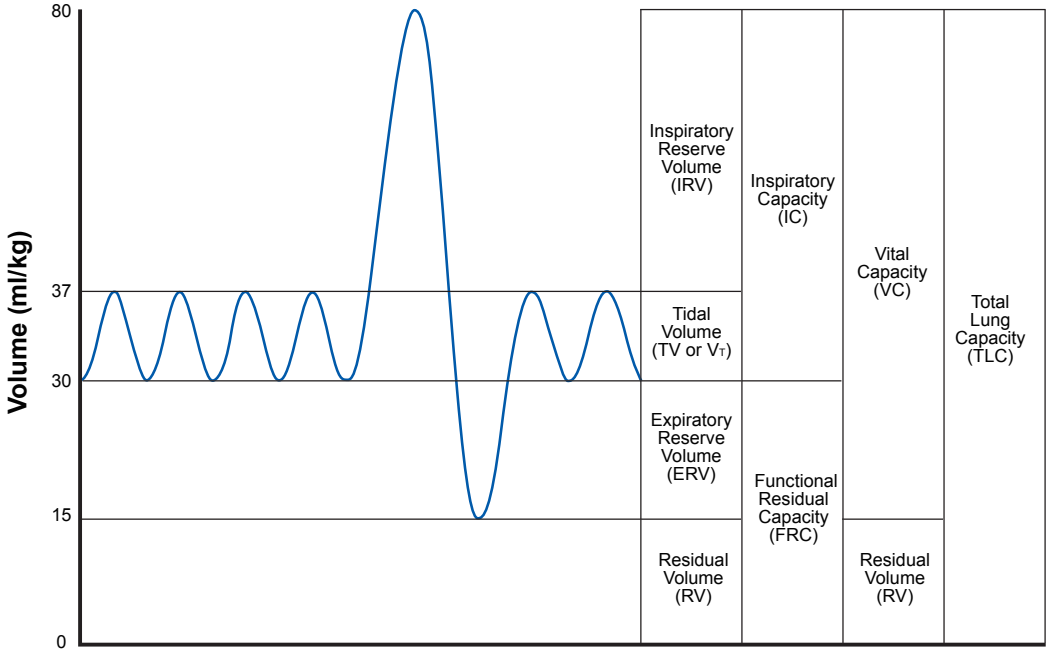

Fig. 1. Lung volumes.

최대흡기압으로 기록한다. 이때 최대흡기압은 순간적으로 올라간 값이 아니라, 적어도 같은 압력으로 1초 이상, 이상적으로는 2초 이상 유지된 값을 측정하는 편이 재현성이 높으므로 이를 기록하는 것을 권장하고 있으며, 이를 위해서는 측정 장치에 스크린이 달려 있는 모델을 사용하는 것이 필요하다[53]. 흡기압을 측정할 때, 정적인 상태에서 환자의 최대 흡기 압력을 반영할 수 있도록 기능적 잔기량(functional residual capacity, FRC)에서 측정하는 것이 이론적으로는 좋지만, 기능적 잔기량은 흉곽이나 폐의 반동 압력(recoil pressure)의 영향을 많이 받기 때문에 이에 대한 표준화가 어려워서 실제로 임상에서는 주로 최대한 숨을 내쉰 후인 잔기량(residual volume, RV)에서 최대흡기압을 측정한다(Fig. 1) [51].

흡기근 훈련 시행 전후 최대흡기압을 비교하는 것은 흡기근 훈련에서 사용된 저항이 얼마나 적절했는지 판단하기 위해 필요하다. 만약 흡기근 시행 후에도 최대흡기압에 개선이 없다면 훈련에서 사용한 저항이 부적절했다고 판단할 수 있다.

(2) 호흡근 훈련 방법

흡기근 훈련은 크게 threshold loading을 이용한 흡기근 저항 훈련과 normocapnic hyperpnea를 이용한 흡기근 지구력 훈련으로 나눌 수 있다. 흡기근 저항 운동은 주로 흡기유량에 영향을 받지 않고 저항을 조절할 수 있는 threshold loading 밸브가 달린 기구를 이용하여 이루어진다. 이 밸브는 미리 세팅해 놓은 특정 압력에서만 열려서 이를 이용해서 흡기근에 가하는 저항의 정도를 조절할 수 있다. 선행 연구들에서는 다양한 강도의 흡기근 훈련이 이루어졌는데, 주로 최대흡기압의 30%에 해당하는 저항으로 시행하는 저강도 운동부터, 많게는 최대흡기압의 50-80%에 달하는 저항을 가하는 중간 강도-고강도 흡기근 훈련까지 다양하게 보고되어 있다. 운동의 지속 기간은 15분 하루 2회 정도 시행하는 경우가 많았으며, 빈도는 일주일에 5-7일 사이로 시행된 경우가 가장 많았다. 사지 근육의 훈련 시와 마찬가지로 적절한 훈련 효과(training effect)를 누리기 위해서는 일정 정도 이상의 부하가 지속적으로 가해져야 하므로, 호흡근에 가하는 부하가 적절한지의 여부는 매주 최대흡기압을 다시 평가해서 조절하는 것이 필요하다[9,10].

Normocapnic hyperpnea를 이용한 호흡근 지구력 훈련(voluntary isocapnic hyperpnea)은 환자가 과호흡을 하더라

Fig. 2. Normocapnic hyperpnea device (Braz J Phys Ther 2006;10:361-72. CC BY-NC 4.0).

Fig. 3. SpiroTiger® device for normocapnic hyperpnea (https://www.spirotiger.net/en/st-products).

도 저탄산혈증이 생기지 않도록 부분적으로 재호흡이 가능하도록 특수하게 설계된 기구를 필요로 하여(Fig. 2), 과거에는 집에서 널리 사용되지는 못했지만 최근에는 보다 간단한 형태의 부분 재호흡 시스템이 개발되어 이용되고 있다(Fig. 3). Voluntary isocapnic hyperpnea 훈련은 호흡근의 지구력을 향상시키기 위한 운동으로 1회당 30분씩, 일주일에 5회의 훈련을 6-12주간 시행하며, 최대자발성환기량(MVV)의 50-60%에 해당하는 호흡량을 분당 50-60회 시행하는 것으로 구성된다[54,55].

결 론

흡기근 훈련은 만성 폐쇄성 폐질환뿐만 아니라 천식, 간질성 폐질환 등과 같은 만성 폐질환, 심부전, 경수 손상, 신경 근육질환, 장기간의 인공호흡기 치료, 삼킴 곤란 등의 다양한 질환이 있는 환자들에게 안전하고 효과적으로 시행할 수 있는 호흡재활 기법이다. 따라서, 흡기근 훈련이 효과적이라고 알려진 질환을 가진 환자들에게 적극적으로 호흡근 훈련을 시행하는 것이 환자의 기능 수준을 호전시키고 질환으로 인한 장애를 감소시키는 데 도움이 될 것이다. 또한 향후 다양한 질환에서 호흡근 훈련의 효과에 대해 적극적으로 연구하여 치료의 지평을 넓혀 가는 것이 필요할 것으로 생각된다.

REFERENCES

1. Laghi F, Tobin MJ. Disorders of the respiratory muscles. Am J Respir Crit Care Med 2003;168:10-48.
2. Killian KJ, Jones NL. Respiratory muscles and dyspnea. Clin Chest Med 1988;9:237-48.
3. Hamilton AL, Killian KJ, Summers E, Jones NL. Muscle strength, symptom intensity, and exercise capacity in patients with cardiorespiratory disorders. Am J Respir Crit Care Med 1995;152:2021-31.
4. Bégin P, Grassino A. Inspiratory muscle dysfunction and chronic hypercapnia in chronic obstructive pulmonary disease. Am Rev Respir Dis 1991;143:905-12.
5. Gosselink R, De Vos J, van den Heuvel SP, Segers J, Decramer M, Kwakkel G. Impact of inspiratory muscle training in patients with COPD: what is the evidence? Eur Respir J 2011;37:416-25.
6. De Troyer A, Wilson TA. Effect of acute inflation on the mechanics of the inspiratory muscles. J Appl Physiol (1985) 2009;107:315-23.
7. Smith K, Cook D, Guyatt GH, Madhavan J, Oxman AD. Respiratory muscle training in chronic airflow limitation: a meta-analysis. Am Rev Respir Dis 1992;145:533-9.
8. Lötters F, van Tol B, Kwakkel G, Gosselink R. Effects

of controlled inspiratory muscle training in patients with COPD: A meta-analysis. Eur Respir J 2002;20:570-6.

9. Beaumont M, Forget P, Couturaud F, Reychler G. Effects of inspiratory muscle training in COPD patients: A systematic review and meta-analysis. Clin Respir J 2018;12:2178-88.
10. Ammous O, Feki W, Lotfi T, Khamis AM, Gosselink R, Rebai A, et al. Inspiratory muscle training, with or without concomitant pulmonary rehabilitation, for chronic obstructive pulmonary disease (COPD). Cochrane Database Syst Rev 2023;1:CD013778.
11. Spruit MA, Singh SJ, Garvey C, ZuWallack R, Nici L, Rochester 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 2013;188:e13-64.
12. Bolton CE, Bevan-Smith EF, Blakey JD, Crowe P, Elkin SL, Garrod R, et al. British Thoracic Society guideline on pulmonary rehabilitation in adults. Thorax 2013;68(9):887-8.
13. Polkey MI, Moxham J, Green M. The case against inspiratory muscle training in COPD. Against. Eur Respir J 2011;37:236-7.
14. Silva IS, Fregonezi GA, Dias FA, Ribeiro CT, Guerra RO, Ferreira GM. Inspiratory muscle training for asthma. Cochrane Database Syst Rev 2013;2013(9):CD003792.
15. Duruturk N, Acar M, Doğrul MI. Effect of inspiratory muscle training in the management of patients with asthma: A randomized controlled trial. J Cardiopulm Rehabil Prev 2018;38:198-203.
16. Pinet C, Cassart M, Scillia P, Lamotte M, Knoop C, Casimir G, et al. Function and bulk of respiratory and limb muscles in patients with cystic fibrosis. Am J Respir Crit Care Med 2003;168:989-94.
17. Karadallı MN, Boşnak-Güçlü M, Camcıoğlu B, Kokturk N, Türktaş H. Effects of inspiratory muscle training in subjects with sarcoidosis: A randomized controlled clinical trial. Respir Care 2016;61:483-94.
18. Panagiotou M, Polychronopoulos V, Strange C. Respiratory and lower limb muscle function in interstitial lung disease. Chron Respir Dis 2016;13:162-72.
19. Zaki S, Moiz JA, Mujaddadi A, Ali MS, Talwar D. Does inspiratory muscle training provide additional benefits during pulmonary rehabilitation in people with interstitial lung disease? A randomized control trial. Physiother Theory Pract 2023;39:518-28.
20. Kaushal M, Ali MS, Sharma RK, Talwar D. Effect of respiratory muscle training and pulmonary rehabilitation on exercise capacity in patients with interstitial lung disease: A prospective quasi-experimental study. Eurasian J Pulmonol 2019;21:87-92.
21. Jastrzebski D, Gumola A, Gawlik R, Kozielski J. Dyspnea and quality of life in patients with pulmonary fibrosis after six weeks of respiratory rehabilitation. J Physiol Pharmacol 2006;57 Suppl 4:139-48.
22. Hughes PD, Polkey MI, Harrus ML, Coats AJ, Moxham J, Green M. Diaphragm strength in chronic heart failure. Am J Respir Crit Care Med 1999;160:529-34.
23. Ambrosino N, Opasich C, Crotti P, Cobelli F, Tavazzi L, Rampulla C. Breathing pattern, ventilatory drive and respiratory muscle strength in patients with chronic heart failure. Eur Respir J 1994;7:17-22.
24. Evans SA, Watson L, Cowley AJ, Johnston ID, Kinnear WJ. Static lung compliance in chronic heart failure: relation with dyspnoea and exercise capacity. Thorax 1995;50:245-8.
25. Clark A, Coats A. The mechanisms underlying the increased ventilatory response to exercise in chronic stable heart failure. Eur Heart J 1992;13:1698-708.
26. Andrade CCF, Silva RT, Brunherotti MAA. Effects of inspiratory muscle training in patients with class III and IV heart failure. Curr Probl Cardiol 2022;47:101307.
27. Palau P, Domínguez E, López L, Ramón JM, Heredia R, González J, et al. Inspiratory muscle training and functional electrical stimulation for treatment of heart failure with preserved ejection fraction: The TRAINING-HF Trial. Rev Esp Cardiol (Engl Ed) 2019;72:288-97.
28. Azambuja ACM, de Oliveira LZ, Sbruzzi G. Inspiratory

muscle training in patients with heart failure: What is new? Systematic review and meta-analysis. Phys Ther 2020;100:2099-109.

29. Chiappa GR, Roseguini BT, Vieira PJ, Alves CN, Tavares A, Winkelmann ER, et al. Inspiratory muscle training improves blood flow to resting and exercising limbs in patients with chronic heart failure. J Am Coll Cardiol 2008;51:1663-71.
30. Berlowitz DJ, Tamplin J. Respiratory muscle training for cervical spinal cord injury. Cochrane Database Syst Rev 2013;(7):CD008507.
31. Boswell-Ruys CL, Lewis CRH, Wijeysuriya NS, McBain RA, Lee BB, McKenzie DK, et al. Impact of respiratory muscle training on respiratory muscle strength, respiratory function and quality of life in individuals with tetraplegia: A randomised clinical trial. Thorax 2020;75:279-88.
32. McCool FD, Tzelepis GE. Inspiratory muscle training in the patient with neuromuscular disease. Phys Ther 1995;75:1006-14.
33. Silva IS, Pedrosa R, Azevedo IG, Forbes AM, Fregonezi GA, Dourado Junior ME, et al. Respiratory muscle training in children and adults with neuromuscular disease. Cochrane Database Syst Rev 2019;9:CD011711.
34. Pinto S, de Carvalho M. Can inspiratory muscle training increase survival in early-affected amyotrophic lateral sclerosis patients? Amyotroph Lateral Scler Frontotemporal Degener 2013;14:124-6.
35. Stamler JS, Meissner G. Physiology of nitric oxide in skeletal muscle. Physiol Rev 2001;81:209-37.
36. Sander M, Chavoshan B, Harris SA, Iannaccone ST, Stull JT, Thomas GD, et al. Functional muscle ischemia in neuronal nitric oxide synthase-deficient skeletal muscle of children with Duchenne muscular dystrophy. Proc Natl Acad Sci U S A 2000;97:13818-23.
37. Finder JD. A 2009 perspective on the 2004 American Thoracic Society statement, "respiratory care of the patient with Duchenne muscular dystrophy". Pediatrics 2009;123 Suppl 4:S239-41.
38. Finder JD, Birnkrant D, Carl J, Farber HJ, Gozal D, Iannaccone ST, et al. Respiratory care of the patient with Duchenne muscular dystrophy: ATS consensus statement. Am J Respir Crit Care Med 2004;170:456-65.
39. Birnkrant DJ, Bushby K, Bann CM, Alman BA, Apkon SD, Blackwell A, et al. Diagnosis and management of Duchenne muscular dystrophy, part 2: Respiratory, cardiac, bone health, and orthopaedic management. Lancet Neurol 2018;17:347-61.
40. Kress JP, Hall JB. ICU-acquired weakness and recovery from critical illness. N Engl J Med 2014;370:1626-35.
41. Petrof BJ, Jaber S, Matecki S. Ventilator-induced diaphragmatic dysfunction. Curr Opin Crit Care 2010;16:19-25.
42. Moodie L, Reeve J, Elkins M. Inspiratory muscle training increases inspiratory muscle strength in patients weaning from mechanical ventilation: A systematic review. J Physiother 2011;57:213-21.
43. Elkins M, Dentice R. Inspiratory muscle training facilitates weaning from mechanical ventilation among patients in the intensive care unit: A systematic review. J Physiother 2015;61:125-34.
44. Worraphan S, Thammata A, Chittawatanarat K, Saokaew S, Kengkla K, Prasannarong M. Effects of inspiratory muscle training and early mobilization on weaning of mechanical ventilation: A systematic review and network meta-analysis. Arch Phys Med Rehabil 2020;101:2002-14.
45. Veis SL, Logemann JA. Swallowing disorders in persons with cerebrovascular accident. Arch Phys Med Rehabil 1985;66:372-5.
46. Matsuo K, Palmer JB. Coordination of mastication, swallowing and breathing. Jpn Dent Sci Rev 2009;45:31-40.
47. Wheeler KM, Chiara T, Sapienza CM. Surface electromyographic activity of the submental muscles during swallow and expiratory pressure threshold training tasks. Dysphagia 2007;22:108-16.
48. Troche MS, Brandimore AE, Godoy J, Hegland KW. A framework for understanding shared substrates of airway protection. J Appl Oral Sci 2014;22:251-60.

49. Zhang W, Pan H, Zong Y, Wang J, Xie Q. Respiratory muscle training reduces respiratory complications and improves swallowing function after stroke: A systematic review and meta-analysis. Arch Phys Med Rehabil 2022;103:1179-91.

50. Rodríguez MÁ, Crespo I, Del Valle M, Olmedillas H. Should respiratory muscle training be part of the treatment of Parkinson's disease? A systematic review of randomized controlled trials. Clin Rehabil 2020;34:429-37.

51. Laveneziana P, Albuquerque A, Aliverti A, Babb T, Barreiro E, Dres M, et al. ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. Eur Respir J 2019;53:1801214.

52. Evans JA, Whitelaw WA. The assessment of maximal respiratory mouth pressures in adults. Respir Care 2009;54:1348-59.

53. Windisch W, Hennings E, Sorichter S, Hamm H, Criée CP. Peak or plateau maximal inspiratory mouth pressure: Which is best? Eur Respir J 2004;23:708-13.

54. Herkenrath SD, Treml M, Priegnitz C, Galetke W, Randerath WJ. Effects of respiratory muscle training (RMT) in patients with mild to moderate obstructive sleep apnea (OSA). Sleep Breath 2018;22:323-8.

55. Scherer TA, Spengler CM, Owassapian D, Imhof E, Boutellier U. Respiratory muscle endurance training in chronic obstructive pulmonary disease: Impact on exercise capacity, dyspnea, and quality of life. Am J Respir Crit Care Med 2000;162:1709-14.