가로막 이완기법이 가로막 움직임과 폐활량에 미치는 영향

https://doi.org/10.32337/KACPT.2023.11.2.21
대한심장호흡물리치료학회지 제11권 제2호 2023.12. PP.21-26

강태욱[1], 이재석[2*]
[1]김해대학교 물리치료과 [2]동아대학교병원 재활치료실

Effect of the Diaphragm Release Technique for a Diaphragmatic Mobility and Slow Vital Capacity

Tae-Wook Kang PT, PhD[1*], Jae-Seok Lee PT, PhD[2]
[1]*Department of Physical Therapy, Gimhae college*
[2]*Department of Rehabilitation, Dong-A University Hospital*

Purpose: The purpose of this study was to investigate the immediate effect of diaphragm release technique applied to healthy adults on diaphragmatic mobility and slow vital capacity. **Methods:** This study included 21 healthy participants (13 males and 8 females). The participants performed exercises 10 times in 1 set diaphragm release technique, with a total of 3 sets. Before and after the intervention of the diaphragm release technique, diaphragmatic mobility was assessed using ultrasound, and slow vital capacity was evaluated using a portable digital spirometry device. **Results:** After the diaphragm release technique intervention, diaphragmatic mobility significantly increased in quiet breathing and deep breathing. In the case of slow vital capacity, only vital capacity increased significantly. **Conclusion:** Diaphragmatic mobility and slow vital capacity were affected by the diaphragm release technique, and it is believed that the diaphragm release technique will be useful as an intervention method in order to improve respiratory function.

Key words: Diaphragm release technique, Diaphragmatic mobility, Slow vital capacity, Ultrasound imaging

Received: May 15, 2023 / **Revised:** June 4, 2023 / **Accepted:** June 12, 2023

Ⅰ. 서 론

호흡은 외부와 신체 사이에서 일어나는 산소와 이산화탄소의 교환과정을 말하며(Sherwood, 2010), 외부의 공기가 신체 내부로 들어오는 들숨(inspiration)과 신체 내부에서 외부로 나가는 날숨(expiration)으로 구성되어 있다. 들숨은 근육의 능동적인 수축에 의해 일어나고, 날숨은 탄성 복원력에 의해 수동적으로 일어나지만 신체 내부에 남아있는 공기를 외부로 배출하기 위해서는 능동적인 날숨근의 수축이 동반되어야 한다. 이러한 공기 교환과정은 호흡근육의 조절에 의해 이루어진다(Pryor와 Prasad, 2002).

호흡근 중 가로막(diaphragm)은 정상인의 안정적인 호흡 시 들숨량의 70%를 담당하는 것으로 알려져 있다(Onders 등, 2014). 가로막은 돔 형태로 들숨 시 수축하여 가슴안 공간은 확장되고 배안 공간의 압력을 증가시키며, 날숨 시 가로막이 이완되면서 배안 공간의 압력은 감소하고 가슴안 공간이 줄어들게 된다(Harper 등, 2013). 이러한 역할을 하는 가로막의 기능부전은 일반적으로 근육의 마비, 탈장, 근육약화 등의 원인으로 발생한다(Nason 등, 2012; Ricoy 등, 2019).

가로막으로 인해 호흡장애가 발생하는 가장 큰 문제는 근육조직의 구조적 변화이다. 가로막에서 수직으로 배열된 근섬유는 더욱 횡단적으로 배향될 수 있으며(Sollanek 등, 2015), 이로 인해 가로막의 수축력이 감소하여 배 내압, 가로막의 움직임이 감소하여 호흡기능에 영향을 미친다(Yamaguti 등, 2009).

가로막 기능을 개선하기 위한 중재방법으로는 가로막 호흡운동(diaphragmatic breathing exercise)이 대표적이다. 가로막 호흡운동은 들숨 보조 근육의 작용을 최소화하면서 들숨 시 배 부위가 바깥쪽으로 움직이도록 하는 운동방법으로(Cahalin 등, 2002), 호흡장애를 가지고 있는 만성폐쇄성폐질환(chronic obstructive pulmonary disease; COPD) 환자에게 4주간 적용한 결과 역행호흡(paradoxical breathing)과 신체활동 능력 및 삶의 질을 향상시켰다(Yamaguti 등, 2012). 또 다른 중재방법으로는 가로막 이완기법이 있다. 가로막 이완기법은 임상에서 많이

교신저자: 이재석
주소: 49201 부산 서구 대신공원로 26, E-mail: clearly4125@naver.com

적용되고 있으며, 부작용은 거의 없는 것으로 알려져 있다(González-Álvarez 등, 2016; Rocha 등, 2015). Rocha 등(2015)은 가로막의 기능 개선을 위해 노인 COPD 환자를 대상으로 가로막 이완기법(manual diaphragm release technique)을 적용한 결과 실험군이 대조군에 비해 가로막의 움직임과 들숨용량이 증가함을 보고하였다. 또한, 오현비 등(2021)의 연구에서는 Rocha 등(2015)의 연구에서 시행한 가로막 이완기법과는 방법적으로 조금 차이가 있는 가로막의 근막 이완기법을 적용하여 최대날숨압력(maximal expiratory pressure; MEP), 최대들숨압력(maximal inspiratory pressure; MIP)에서는 유의한 차이를 보이지 않았으나, 노력성 폐활량(forced vital capacity; FVC)에서는 유의한 차이가 있다고 하였다. 이러한 근육 이완기법은 근섬유를 간접적으로 늘려주고 장력을 감소시켜 근섬유 길이를 정상화하여 근육의 수축 능력을 높여주기 위해 사용되는 기법이다(박경희, 2012).

가로막의 수축 능력을 평가하는 방법으로는 투시촬영검사(fluoroscopy-guided imaging), 가슴 X선 촬영, 초음파(ultrasound)를 이용하는 방법 등이 있다(Boussuges 등, 2009; Chun 등, 2015; Saltiel 등, 2013). 이 중 초음파를 이용한 가로막의 움직임 평가는 방사선 노출에 위험성이 없고, 비침습적으로 재현성이 높아 임상에서 가로막의 평가에 유용한 도구로 사용되고 있다(Boussuges 등, 2009). 이재석과 강태욱(2022)의 연구에서는 가로막의 움직임을 평가하기 위해 초음파를 사용하였으며, 딥벨트를 이용한 가로막 호흡운동 중재 후 가로막의 움직임이 편안한 호흡(quiet breathing)과 깊은 호흡(deep breathing)에서 유의하게 증가한다고 하였다.

이와 같이 대부분의 선행연구에서는 호흡 근육인 가로막에 대한 직접적인 중재 보다는 가슴우리의 확장이나 복부의 팽창 운동을 통해 호흡 기능의 변화를 확인한 연구로 가로막에 대한 직접적인 중재와 초음파영상을 통한 가로막의 움직임 및 폐활량을 확인한 연구는 부족한 편이다.

따라서 본 연구의 목적은 가로막의 움직임과 폐활량에 가로막 이완기법의 즉각적인 효과를 알아보고자 하였다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상자는 김해시 소재 G대학교 물리치료과에 재학중인 학생을 대상으로 하였다. 모든 대상자에게 헬싱키 선언에 따라 본 연구의 목적에 대해 충분히 설명하였으며, 대상자들은 모두 자발적으로 참여하기로 서면 동의하였다. 연구대상자의 선정기준은 2주 내 호흡기계 감염이 없는 자, 근육뼈대계 통증이 없는 자, 신경학적 질환이 없는 자, 연구자의 지시를 충분히 따를 수 있는 자 등 모든 조건을 충족하는 대상자 21명을 선정하였다.

2. 측정 도구 및 방법

1) 가로막 움직임 측정

가로막의 움직임은 초음파(Echo Wave Ⅱ, TELEMED, Lithuania)를 사용하여 측정하였다. 대상자는 바로 누운 자세에서 배근의 긴장을 완화하기 위해 양쪽 무릎을 90도 굽힌 상태를 취하게 하였다. 오른쪽 빗장뼈의 중간지점을 수직으로 이은 선(mid clavicular line)과 오른쪽 아래 갈비뼈의 갈비모서리(costal margin)가 만나는 지점에 볼록형 탐촉자(convex transducer probe)를 접촉하여 먼저 B-mode를 통해 가로막 근육을 확인한 후 M-mode로 변환하여 들숨과 날숨을 하는 동안 초음파영상에서 가로막의 가장 낮은 지점과 가장 높은 지점의 수직 거리를 측정하여 가로막의 움직임을 측정하였다(Santana 등, 2020). 가로막 움직임 측정은 편안한 호흡(quiet breathing)과 깊은 호흡(deep breathing)을 시행할 때 측정하였으며, 각각 3회 측정하여 평균값을 사용하였다.

2) 폐활량 측정

폐활량을 측정하기 위해 디지털 폐기능 측정기(Pony Fx, COSMED, Italy)를 사용하였으며, 측정 항목은 느린 폐활량(slow vital capacity; SVC)이었다. 대상자는 팔걸이가 있는 의자에 앉아 허리를 곧게 펴고, 다리는 어깨 넓이로 벌린 상태를 유지하였다. 느린 폐활량을 측정하기 위해 코마개(nose clip)을 착용하고 호흡 필터를 입에 문 상태에서 평상시 호흡을 하다가 디지털 폐기능 측정기의 신호에 따라 최대로 날숨 한 후 다시 최대로 들숨하고 또다시 최대로 날숨 한 다음 평상시 호흡을 3회 실시하였다. 느린 폐활량 측정을 통해 폐활량(vital capacity; VC), 날숨예비용적(expiratory reserve volume; ERV), 들숨예비용적(inspiratory reserve volume; IRV), 들숨용량(inspiratory capacity; IC), 1회호흡량(tidal volume; VT)을 측정하였으며, 각각 3회 측정한 값의 평균값을 사용하였다.

3. 가로막 이완기법

대상자는 침대에 바로 누운 자세에서 무릎을 90도 굽힌 상태를 취하여 가로막이 이완된 상태를 유지하도록 하였다. 검사자는 대상자의 머리 위쪽에 위치하고 대상자의 7~10번 갈비뼈의 아래면에 검사자의 손을 위치시켰다. 대상자가 숨을 들이쉴 때 갈비뼈의 확장을 보조하기 위해 검사자는 대상자의 머리 방향과 약간 바깥쪽으로 부드럽게 당겼으며, 숨을 내쉬는 동안 검사자는 저항을 유지하면서 갈비뼈의 가장자리 안쪽으로 깊게 검사자의 3~5번째 손가락을 위치시키면서 호흡 주기가 반복될 때 점진적으로 접촉

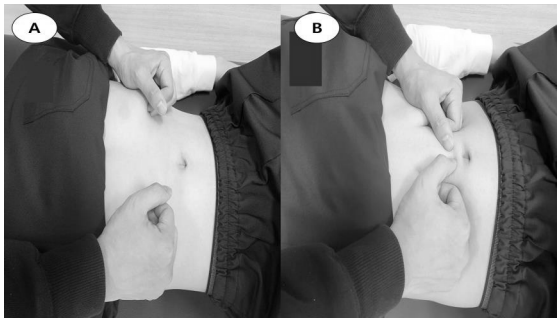

그림 1. 가로막 이완기법
A: 들숨, B: 날숨

깊이를 증가시키면서 가로막 이완기법을 적용하였다(Rocha 등, 2015). 가로막 이완기법은 깊은 호흡 10회를 1세트로 설정하여 총 3세트 실시하였고, 세트 사이에 1분간 휴식을 취하였다(그림 1).

4. 분석 방법

정상 성인에게 가로막 이완기법을 중재하였을 때 초음파상 가로막의 움직임과 느린 폐활량의 전후 변화를 확인하기 위해 대응표본 T 검정(paired t-test)을 사용하였다. 통계프로그램은 IBM SPSS ver. 22.0 (IBM Co., Armonk, NY, USA)을 사용하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 일반적 특성

본 연구의 대상자는 건강한 성인 남성 13명, 여성 8명으로 총 21명으로 구성되었다. 대상자의 평균 나이는 24.95±4.15세이고, 신장은 170.76±7.49 ㎝, 체중은 65.67±11.38 ㎏이었다(표 1).

2. 가로막 이완기법 중재 후 가로막 움직임의 전후 비교

가로막 이완기법을 중재 후 초음파상 가로막의 움직임 변화를 확인하였다. 편안한 호흡에서 가로막 움직임은 16.54±5.75 ㎜로 가로막 이완기법을 중재한 후 21.56±5.70 ㎜로 유의하게 증가하였다. 깊은 호흡에서도 중재 전 34.66±11.27 ㎜에서 45.55±11.03 ㎜로 유의하게 증가하였다(표 2).

표 1. 대상자의 일반적 특성 (단위)

변수	대상자 (N=21)
남성/여성(sex)	13 / 8
나이(years)	24.95±4.15[a]
신장(㎝)	170.76±7.49
체중(㎏)	65.67±11.38

[a]평균±표준편차

표 2. 초음파상 가로막 움직임의 전후 비교 (단위: ㎜)

변수	중재 전	중재 후	t
Quiet breathing	16.54±5.75[a]	21.56±5.70	-3.41**
Deep breathing	34.66±11.27	45.55±11.03	-4.64***

[a]평균±표준편차, **p<.01, ***p<.001

표 3. 느린 폐활량의 전후 비교 (단위:ℓ)

변수	중재 전	중재 후	t
VC	3.49±0.77[a]	3.76±0.80	-2.80*
ERV	1.11±0.49	1.29±0.38	-1.53
TV	0.68±0.28	0.70±0.28	-0.34
IRV	1.69±0.49	1.78±0.49	-1.11
IC	2.38±0.59	2.47±0.55	-1.32

[a]평균±표준편차, *p<.05
VC; vital capacity, ERV; expiratory reserve volume, TV; tidal volume, IRV; inspiratory reserve volume, IC; inspiratory capacity

3. 가로막 이완기법 중재 후 느린 폐활량의 전후 비교

가로막 이완기법 중재 후 느린 폐활량의 변화를 확인하였다. 가로막 이완기법을 중재하기 전 폐활량(VC)은 3.49±0.77 ℓ이고, 중재 후 3.76±0.80 ℓ로 유의하게 증가하였다. 날숨예비용적(ERV), 일회호흡량(TV), 들숨예비용적(IRV), 들숨용량(IC)은 중재 후 유량은 증가하였지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다(표 3).

Ⅳ. 고 찰

근육의 움직임 감소는 신장성을 감소시키고 근섬유의 형태를 변형시켜 근위축을 발생시킨다(Witzmann 등, 1982). 들숨에 주요 근육인 가로막의 움직임 감소는 노화와 호흡기 질환 그리고 신경근육 질환의 원인으로 알려져 있다(Carvalho 등, 2019; Elliott 등, 2016; Hida 등; 2019). 가로막 근육의 근 길이 변화는 가로막 근육이 가지고 있는 기계적 이점이 상실시키고 비정상적인 역행호흡과 같은 호흡 형태로 변화시킨다(Hida 등, 2019; Laghi와 Tobin, 2003; Newell 등, 1989). 환자들은 비정상적인 가로막의 움직임을 개선하기 위해 가로막 호흡운동과 같은 방법으로 호흡 재교육을 시작한다(Cahalin 등, 2002). 하지만 이미 짧아져 근육의 움직임이 감소한 경우에 정상적인 호흡패턴을 교육하기는 매우 어렵다. 그러므로 근육을 이완하여 정상적인 길이를 확보해 근육의 움직임을 증가시키는 것이 중요하다. 그래서 본 연구는 정상 성인을 대상으로 가로막 이완기법이 가로막의

움직임과 폐활량에 어떠한 영향을 미치는지 확인하였다.

정상 성인을 대상으로 가로막 이완기법을 중재한 후 초음파상의 가로막 움직임 변화를 확인하였을 때 편안한 호흡과 깊은 호흡 모두 가로막 움직임이 유의하게 증가하였다. 이러한 가로막 움직임의 증가는 가로막 근육의 근 길이 증가나 주위 물렁조직의 긴장도 완화로 볼 수 있다. Marizeiro 등(2018)은 좌식 생활을 주로 하는 여성을 대상으로 가로막 근막 이완기법을 중재하였을 때 가슴우리의 확장성 변화를 확인하였다. 실험군은 가로막 들어 올리기 기법(lift diaphragm technique)을 10회 좌우 2세트와 가로막 기둥 이완(relaxation of the diaphragm pillars)을 좌우 1세트 중재하였다. 가로막 근막 이완기법을 중재한 실험군의 경우 가슴우리의 확장성이 전보다 증가하였고 대조군보다 상부와 하부의 가슴우리 확장성이 더 높았다. 가로막 근육의 이완기법이 가슴우리의 확장성을 증가시킨 것은 가슴우리 주위 물렁조직의 긴장도가 완화된 것으로, 본 연구에서 가로막 근육의 움직임이 증가한 것은 하부 가슴우리의 확장성과 연관되어 있다고 할 수 있다. González-Álvarez 등(2016)은 가로막 신장기법(diaphragm stretch technique)을 이용해 가슴우리와 배 부위의 확장성 변화를 확인하였다. 가로막 신장기법을 5분에서 7분 정도 한번 중재를 한 실험군의 경우 칼돌기 부위의 확장성이 전보다 증가하였고, 대조군보다 유의하게 증가하였지만 배 부위의 확장성은 전보다 감소하였다. 본 연구에서 가로막의 움직임이 증가한 것과 다르게 가로막 신장기법은 배 부위의 확장성이 감소하였다. 배 부위의 확장성이 가로막의 움직임과 상관성은 있지만(이재석과 강태욱, 2022; Rocha 등, 2015), 비침습적인 방법으로 가로막의 정확한 움직임을 측정할 수 있는 초음파영상과 배 부위에 줄자를 이용해 간접적으로 가로막 확장성을 측정한 측정방법의 차이로 보인다. Nair 등(2019)은 COPD 환자 20명에게 가로막 신장기법과 가로막 이완기법을 사용하였을 때 가로막의 움직임과 가슴우리의 확장성을 비교하였다. 가로막 신장기법과 이완기법 모두 초음파상 가로막의 움직임이 증가하였고 가슴우리의 움직임 또한 두 그룹 모두 중재 후 증가하였다. 가로막 근육의 도수치료 기법은 가로막의 움직임을 증가시킬 수 있다는 것으로 본 연구에서 이완기법을 적용 후 가로막의 움직임이 증가한 결과와 일치한다. 이러한 근육의 이완기법은 근육 기능과 심리 생리학적 상태를 변화시켜 근섬유의 길이 변화에 영향을 미친 것으로 불 수 있다(Arroyo-Morales 등, 2008).

가로막 이완기법을 중재한 후 느린 폐활량의 변화를 확인하였을 때 느린 폐활량의 모든 수치가 증가했지만, 폐활량 수치만 통계적으로 유의하게 증가하였다. Rocha 등(2015)은 60세 이상 COPD 환자를 대상으로 2주 동안 6번 가로막 이완기법을 중재하였고, 광전자 체적변동기록법(optoelectronic plethysmography)으로 폐활량 변화를 확인하였다. 1회 가로막 이완기법을 중재받은 실험군은 대조군보다 폐활량이 295 ㎖ 높았고, 6회 중재에도 대조군보다 249 ㎖ 높았다. 들숨유량 변화에서 또한 1회 중재 후 실험군이 237 ㎖ 높았다. 본 연구에서도 느린 폐활량의 증가가 보였지만, 유의한 차이는 폐활량에서만 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 폐활량을 측정한 방법의 차이라고 볼 수 있다. 광전자 체적변동기록법은 몸에 마커를 붙여 몸통 분절의 용적변화를 기록하는 것으로 본 연구에서 사용한 폐활량계와 검사방법이 다른 것으로 볼 수 있다. 오현비 등(2021)은 본 연구와 유사한 중재방법으로 중재 후 노력성 폐활량은 감소하였고 최대들숨압력 그리고 최대날숨압력이 증가는 하였지만 모두 유의한 변화는 없었다고 하였다. 이러한 결과는 건강한 성인을 대상으로 중재하여 폐활량과 호흡 근력에 큰 변화를 주지 못한 것으로 보인다고 하였다. 본 연구 또한 호흡 질환이 없는 정상 성인을 대상으로 중재하여 가로막의 움직임은 증가하였지만, 폐활량에는 큰 변화가 없었던 것으로 보인다.

본 연구의 제한점은 정상 성인을 대상으로 실험한 것으로 일반화하기는 어려움이 있다. 그리고 가로막 이완기법의 일회성 효과를 본 것으로 장기간 추적관찰을 하지 못한 부분이 있다. 이에 따라 추후 연구에서는 가로막 기능이 감소한 환자를 대상으로 가로막 이완기법을 중재하였을 때 가로막의 움직임과 폐활량 변화를 장기간 추적관찰하는 연구가 필요하다고 사료 된다.

Ⅴ. 결 론

본 연구에서는 가로막 이완기법이 편안한 호흡과 깊은 호흡 시 가로막의 움직임 증가에 영향을 주는 것을 확인할 수 있었고, 느린 폐활량 검사에서도 폐활량 수치가 유의하게 증가한 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 가로막의 근섬유 길이가 짧아지거나 장력이 증가할 경우 호흡 기능에 영향을 미칠 것으로 판단할 수 있으며, 이러한 가로막의 문제를 해결하기 위한 중재로 가로막 이완기법이 이용될 수 있을 것으로 사료 된다.

참고문헌

박경희. 근막이완요법이 근피로 이완효과에 미치는 영향. 숭실대학교 대학원, 박사학위논문, 2012.

오현비, 이용기, 이건호, 등. 가로막의 근막이완기법이 최대호흡압력과 노력성폐활량에 미치는 효과. 대한심장호흡물리치료학회지, 9(2);1-5, 2021.

이재석, 강태욱. 딥벨트의 가로막 수축압력과 초음파영상의 가로막 움직임 및 폐활량과의 상관성. 대한심장호흡물리치료학회지, 10(2);47-52, 2022.

이재석, 강태욱. 딥벨트를 이용한 일회성 가로막 호흡운동이 가로막 움직임과 노력성 폐활량에 미치는 영향. 대한물리치료과학회지, 29(2);57-65, 2022.

Arroyo-Morales M, Olea N, Martínez MM, et al. Psychophysiological effects of massage-myofascial release after exercise: a randomized sham-control study. J Altern Complement Med, 14(10);1223-1229, 2008.

Boussuges A, Gole Y, Blanc P. Diaphragmatic motion studied by m-mode ultrasonography: methods, reproducibility, and normal values. Chest, 135(2);391-400, 2009.

Cahalin LP, Braga M, Matsuo Y, et al. Efficacy of diaphragmatic breathing in persons with chronic obstructive pulmonary disease: a review of the literature. J Cardiopulm Rehabil, 22(1);7-21, 2002.

Carvalho M, Swash M, Pinto S. Diaphragmatic Neurophysiology and Respiratory Markers in ALS. Front Neurol, 10;143, 2019.

Chun EM, Han SJ, Modi HN. Analysis of diaphragmatic movement before and after pulmonary rehabilitation using fluoroscopy imaging in patients with COPD. Int J Chron Obstruct Pulmon Dis, 10;193-199, 2015.

Elliott JE, Omar TS, Mantilla CB, et al. Diaphragm muscle sarcopenia in Fischer 344 and Brown Norway rats. Exp Physiol, 101(7);883-894, 2016.

González-Álvarez FJ, Valenza MC, Torres-Sánchez I, et al. Effects of diaphragm stretching on posterior chain muscle kinematics and rib cage and abdominal excursion: a randomized controlled trial. Braz J Phys Ther, 20(5);405-411, 2016.

Harper CJ, Shahgholi L, Cieslak K, et al. Variability in diaphragm motion during normal breathing, assessed with b-mode ultrasound. J Orthop Sports Phys Ther, 43(12);927-931, 2013.

Hida T, Yamada Y, Ueyama M, et al. Decreased and slower diaphragmatic motion during forced breathing in severe COPD patients: Time-resolved quantitative analysis using dynamic chest radiography with a flat panel detector system. Eur J Radiol, 112;28-36, 2019.

Laghi F, Tobin MJ. Disorders of the respiratory muscles. Am J Respir Crit Care Med, 168(1);10-48, 2003.

Marizeiro DF, Florêncio ACL, Nunes ACL, et al. Immediate effects of diaphragmatic myofascial release on the physical and functional outcomes in sedentary women: A randomized placebo-controlled trial. J Bodyw Mov Ther, 22(4);924-929, 2018.

Nair A, Alaparthi GK, Krishnan S, et al. Comparison of Diaphragmatic Stretch Technique and Manual Diaphragm Release Technique on Diaphragmatic Excursion in Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Randomized Crossover Trial. Pulm Med, 3;6364376, 2019.

Nason LK, Walker CM, McNeeley MF, et al. Imaging of the diaphragm: anatomy and function. Radiographics, 32;51-70, 2012.

Newell SZ, McKenzie DK, Gandevia SC. Inspiratory and skeletal muscle strength and endurance and diaphragmatic activation in patients with chronic airflow limitation. Thorax, 44(11);903-912, 1989.

Onders RP, Elmo M, Kaplan C, et al. Final analysis of the pilot trial of diaphragm pacing in amyotrophic lateral sclerosis with long-term follow-up: Diaphragm pacing positively affects diaphragm respiration. Am J Surg, 207(3);393-397. 2014.

Pryor JA, Prasad SA. Physiotherapy for respiratory and cardiac problems, 3rd ed. Singapore. Churchill Livingstone, 2002.

Ricoy J, Rodriguez-Nunez N, Alvarez-Dobano JM, et al. Diaphragmatic dysfunction. Pulmonology, 25(4); 223-235, 2019.

Rocha T, Souza H, Brandão DC, et al. The Manual Diaphragm Release Technique improves diaphragmatic mobility, inspiratory capacity and exercise capacity in people with chronic obstructive pulmonary disease: a randomised trial. J Physiother, 61(4);182-189, 2015.

Saltiel RV, Grams ST, Pedrini A, et al. High reliability of measure of diaphragmatic mobility by radiographic method in healthy individuals. Braz J Phys Ther, 17(2);128-136, 2013.

Santana PV, Cardenas LZ, Albuquerque ALPD, et al. Diaphragmatic ultrasound: a review of its methodological aspects and clinical uses. J Bras Pneumol, 46(6);e20200064, 2020.

Sherwood L. Human physiology: from cells to systems. 7th ed. Belmont. Brooks/col, 2010.

Sollanek KJ, Smuder AJ, Wiggs MP, et al. Role of intrinsic aerobic capacity and ventilator-induced diaphragm dysfunction. J Appl Physiol, 118;849-857, 2015.

Witzmann FA, Kim DH, Fitts RH. Hindlimb immobilization:

length-tension and contractile properties of skeletal muscle. J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol, 53(2);335-345, 1982.

Yamaguti WP, Claudino RC, Neto AP, et al. Diaphragmatic breathing training program improves abdominal motion during natural breathing in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a randomized controlled trial. Arch Phys Med Rehabil, 93(4);571-577, 2012

Yamaguti WP, Paulin E, Salge JM, et al. Diaphragmatic dysfunction and mortality in patients with COPD. J Bras Pneumol, 35;1174-1181, 2009.