

들숨근 저항운동이 젊은 성인 여성의 가로막 움직임과 호흡기능에 미치는 즉각적인 효과

전혜원 · 심재훈 · 강선영[†]

백석대학교 보건학부 물리치료학과, ¹한국산업진흥원 기업부설연구소

The Immediate Effects of Inspiratory Muscle Training on Diaphragm Movement and Pulmonary Function in Normal Women

Hye-Weon Jeon · Jae-Hoon Shim · Sun-Young Kang[†]

Dept. of Physical Therapy, Division of Health Science, Baekseok University

¹Company-affiliated Research Institute, Korea Industry Development Institute

Received: October 24, 2017 / Revised: November 10, 2017 / Accepted: December 16, 2017

© 2018 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: The purpose of this study was to investigate the immediate effects of inspiratory muscle training on diaphragm movement and pulmonary function in healthy women.

METHODS: The subjects of the study were 27 young women between ages 19 and 22 years who had no history of orthopedic damage for the last 6 months. The 27 participants were randomly selected and spontaneously participated and consented to the purpose of the study. This study measured diaphragm movement and pulmonary function under two different conditions, before and after inspiratory muscle

training. Ultrasonography is appropriate for measuring diaphragm movement, and Pony Fx is appropriate to measure pulmonary function such as forced vital capacity (FVC), forced expiratory volume in 1 second (FEV₁), FEV₁/FVC ratio, and peak expiratory flow (PEF) before and after inspiratory muscle training. Paired t-test with a significant level of .05 was used for statistical analysis.

RESULTS: As a result, diaphragm movement significantly increases 1.45cm from before inspiratory muscle training ($p<.05$). Also, FVC, FEV₁, and FEP significantly increase 11.25%, 6.96%, and 8.18%, respectively, from before inspiratory muscle training ($p<.05$).

CONCLUSION: The diaphragm movement and pulmonary function of the healthy women in this study were instantly affected by inspiratory muscle training. From these results, we need to confirm effects of inspiratory muscle training on clinical patients such as pulmonary disease.

Key Words: Diaphragm, Inspiratory muscle training, Pulmonary function, Ultrasonography

[†]Corresponding Author : Sun-Young Kang

sykang0727@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8843-6006>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

호흡계(pulmonary system)는 인체에서 중요한 기능을 차지한다. 호흡(respiration)의 기능은 대기로부터 산소를 섭취하여 산화과정에 필요한 조직으로 운반하고 조직에서 생성된 이산화탄소를 다시 대기 중으로 배출하는 것이며, 이와 같은 기체 교환 과정을 통해 호흡은 신체의 산-염기(acid-base) 평형을 조절하고 신진대사 작용에 중요한 영향을 미친다(Enrico와 Stefania, 2006; Macklem 등, 1978). 호흡은 들숨(inspiration)와 날숨(expiration)로 나뉘는데, 들숨 시 갈비부분과 배부분의 근육이 안쪽으로 가슴우리의 부피 변화를 만들어내며, 들숨근은 가슴 안의 부피를 증가시키고 음압을 형성하여 폐로 공기가 들어오도록 한다(DeVivo 등, 1999; Harper 등, 2013). 호흡운동에서 들숨은 능동적 수축에 의해서 이루어지고 날숨은 폐와 가슴벽의 탄성 복원력(elastic recoil power)에 의해서 수동적으로 이루어진다. 들숨에 주로 관여하는 근육은 가로막(diaphragm)으로 75%를 담당하며 이외에 바깥사이갈비근(external intercostal muscle)과 속갈비사이근(internal intercostal muscle)이 관여한다(Macklem 등, 1978). 호흡에서 가장 중요한 주동근은 가로막으로 가슴 안(thoracic cavity)과 배안(abdominal cavity)을 나누는 구조물이다(Macklem 등, 1978). 가로막은 돔 모양의 근육힘줄(musculotendinous) 구조물로 호흡의 주된 근육으로 알려져 있다. 들숨 시 가로막이 수축하면 가슴 안이 아래로 넓어지며 폐는 팽창하게 되며, 가로막의 기능이상 시 호흡 보조 근육을 이용한 호흡을 하게 된다(Harper 등, 2013). 호흡 기능이상의 주요 원인으로는 횡격막의 근 약화(muscle weakness), 저긴장성(hypotonicity), 그리고 몸통근(trunk muscle)의 협응 장애(coordination disorder) 등이 있다(Annoni 등, 1990). 이로 인해 폐용적의 감소와 함께 폐렴(pneumonia)과 같은 합병증을 동반하게 되며 생명을 위협하기도 한다(DeVivo 등, 1999).

호흡기능의 향상을 위한 훈련 중 들숨근 훈련(inspiratory muscle training: IMT)은 가로막과 들숨 보조근에 부하를 적용함으로써 근육들의 근력과 지구력 향상에 도움을 준다(Jo 등, 2014; Kim과 Choi, 2015; Moodie

등, 2011). 들숨근 훈련은 신경학적 병변과 비신경학적 병변에 의한 들숨근 손상에 관계없이 환기력(ventilation force)을 향상시키며(Enrico와 Stefania, 2006), 뼈대근육 강화훈련의 기본원리인 과부하의 원리(overload principle), 특이성의 원리(specificity principle), 가역성의 원리(reversibility principle)에 기초를 두고 실행된다(Moodie 등, 2011). 또한 가로막 호흡을 강조하는 통제된 호흡 기법은 환기의 효율성을 향상시키고 호흡의 노력을 감소시키며, 가로막의 운동을 증가시켜 가스 교환과 산화를 증가시키기 위해 사용할 수 있다(McConnell와 Romer, 2004).

가로막 움직임은 호흡 패턴에서 중요한 요소 중 하나이지만 상대적으로 평가하기는 어렵다. 이를 위해 최근 초음파를 많이 이용하고 있는데, 초음파는 가로막의 움직임을 빠르고 효율적으로 측정할 수 있다는 이점을 가지고 있는 측정 기계이다(Epelman 등, 2005; Sarwal 등, 2013). 또한 초음파는 근 두께의 변화를 쉽게 측정이 가능하며, 환자에게 생체 되먹임(biofeedback) 도구로 사용이 가능하고(Kim와 Oh, 2016), 최근 실시간 초음파 영상(real time ultrasound imaging, RTUI)을 이용하여 배 가로근(trasversus abdominis), 뭇갈래근(lumbar multifidus), 골반 바닥근(pelvic floor), 가로막 등의 근 재교육에 이용하고 있다(Harper 등, 2013; Van 등, 2006).

들숨근 저항운동을 건강한 성인과 만성 폐쇄성 폐질환 환자에게 적용한 연구에 따르면 들숨근 저항운동이 들숨근의 힘과 지구력을 향상시켰으며(Kim과 Choi, 2015; McConnell와 Romer, 2004), 다발성 경화증(multiple sclerosis)이나 파킨슨병(parkinson disease) 환자에게 적용한 결과 들숨근 호흡기능을 향상시키고 들숨의 힘과 지구력을 향상시켰다(Fry 등, 2007; Inzelberg 등, 2005). 이전 많은 연구들에서는 호흡에 문제가 있는 환자들을 대상으로 들숨근 저항운동 후 호흡기능의 향상에 대해 언급하고 있지만, 가로막 움직임에 미치는 영향에 대한 전후 비교 연구는 부족한 실정이다. 특히 실시간 초음파 영상을 이용하여 들숨근 저항운동 후 가로막 움직임의 변화를 관찰한 연구는 미비하다. 또한 건강한 성인이라 하더라도, 대부분 흉식호흡을 하여 가로막을 잘 활용하지 못하는 성인 여성의 경우 깊은

Table 1. General characteristics of participants

General characteristics	Subjects
Age (years)	20.5±1.01 ^a
Height (cm)	161.9±3.54
Weight (kg)	53.3±5.12

^aMean±Standard Deviation

호흡을 하는데 있어 남성보다 호흡기능이 떨어진다 (Enright 등, 2006; McConnell와 Romer, 2004). 따라서 본 연구는 젊은 성인 여성에 초점을 맞춰, 젊은 성인 여성을 대상으로 들숨근 운동을 시킨 후 가로막의 움직임과 호흡기능의 전후 변화를 알아보는 것이다. 본 연구로 인해 들숨근 저항운동이 즉각적으로 가로막의 움직임과 호흡기능을 증진을 보여준다는 것에 대한 증거를 제시할 수 있다.

II. 연구방법

1. 연구 대상자

본 연구의 대상자는 **대학교에 재학 중인 젊은 성인 여성 27명으로 하였으며 다음과 같은 기준을 적용하였다. 첫째, 심폐 기능에 영향을 미칠 수 있는 질환을 전문 의에게 진단 받지 아니한 자, 둘째, 심혈관계, 호흡기계, 중추신경계와 관련된 과거력이 없는 자, 셋째, 흡연하지 않는 자. 임신 또는 임신 가능성이 있는 자. 인지 기능에 이상이 있는 자는 본 연구에서 제외하였다. 본 연구는 **대학교 기관 생명 윤리 위원회(institutional review board, IRB)의 심의를 거쳐 연구 윤리 승인을 받아 진행 하였다. 대상자들의 일반적인 특성은 다음과 같다(Table 1).

2. 측정도구 및 측정방법

1) 가로막 움직임

본 연구에서는 들숨근 저항운동 전후의 가로막 움직임의 변화를 측정하기 위해 초음파 영상진단 장치인 LOGIQ P6 PRO (GEInc., New Jersey, USA)의 둥근형태



Fig. 1. Position of transducer for measuring diaphragm movement.

촉자를 사용하여 M모드로 측정하였다(Epelman 등, 2005; Van 등, 2006). 움직임 측정은 초음파영상 진단기에 내장된 캘리퍼를 이용하였다. 측정 시 대상자가 모니터를 통한 시각적 바이오피드백을 받지 못하도록 하였다. 측정을 위해 대상자는 엉덩관절과 무릎관절을 굽히고 바로 누운 자세에서 탐촉자를 직각 방향으로 가슴벽에 비추어서 8번과 9번 갈비뼈 사이의 부위를 측정하였다(Epelman 등, 2005; Enright 등, 2006). 1회 호흡 시 선명한 가로막의 영상을 얻기 위해 하부 갈비뼈 사이 공간에 탐촉자를 횡으로 위치하게 하였다. 측정은 3회씩 오른쪽만 실시하였으며, 3번 측정한 평균값을 이용하였다(Fig. 1). 초음파를 이용한 횡격막 움직임 측정은 측정자내 신뢰도가 $r=0.99$ 로 매우 높음으로 보고된다(Boussuges 등, 2009).

2) 호흡기능

본 연구에서는 연구대상자들의 호흡기능은 폐활량 측정기(Pony FX MIP/MEP, Cosmed Srl, Italy)를 사용하여 노력성 폐활량(forced vital capacity, FVC), 1초 노력성 날숨량(forced expiratory volume in 1 sec, FEV₁), 1초 노력성 날숨량의 노력성 폐활량에 대한 비(FEV₁/FVC), 최대날숨속도(peak expiratory flow, PEF)를 측정하였다(Cho와Lee, 2015).

노력성 폐활량(FVC)이란 최대한 빠르고 세계 공기를 들이 마신 후, 불어 낸 공기의 양을 의미 한다(Annoni, 1990). 1초 노력성 날숨량(FEV₁)은 최대한으로 공기 흡입 후 가능한 빨리, 최대한으로 끝까지 공기를 배출 하도록 한 후 1초간 내쉬 호흡량이다(Finkelstein등,



Fig. 2. A : Threshold inspiratory muscle trainer, B : Measure of pulmonary function.

1993; Jung and Shim, 2014). 최대날숨속도(PEF)는 전체 폐용량으로부터 최대 날숨 후에 측정할 수 있는 최대 속도이며 기도폐쇄 유무와 기도폐쇄의 손상 정도를 알아내는 데 유용한 파라미터이다(Annoni, 1990).

정확한 호흡기능 측정을 위하여 검사 대상자가 이해할 수 있도록 충분한 설명을 하고 시범을 보여준 다음 엉덩관절을 90° 굽혀 앉은 자세에서 실시하였으며, 총 3번 평가한 후 그 평균값을 이용하였다(Jung 등, 2014)(Fig. 2). 3번의 평가 사이마다 각 1분씩 휴식이 주어졌으며, 들숨근 저항훈련 10분 후 호흡기능이 측정되었다. 폐활량 측정기를 이용한 호흡기능평가의 측정자내 신뢰도는 $r=0.99$ 로 매우 높음으로 보고된다(Finkelstein 등, 1993).

3. 운동방법

들숨근 저항훈련은 환자가 정확하고 안전하게 최대 들숨기압 41 cm H₂O의 이상을 재현 할 수 있는 들숨근육 훈련기(Threshold inspiratory muscle trainer, Respiroics Health Scan, Inc., USA)를 이용하여 실시하였다(Fregonezi 등, 2009)(Fig. 1). 이 기구는 스프링 가중 밸브(spring loaded one way valve)가 내장된 원통형의 도구로서 들숨시에는 스프링의 위치를 변동시켜 조절된 일정 압력 이상으로 흡입할 때만 밸브가 열리게 구성이 되어 있으므로 대상자에게 훈련시키고자 하는 흡입력을 설정하여 운동을 하게 할 수 있다. 치료사는 중재 전 대상자에게 적절한 훈련방법을 설명하고, 밸브를 조절하여 강도를 조절하였다(Cho와 Lee, 2015; Jo 등,

2014). 대상자들이 소개한 적절한 기술을 실현할 수 있을 때까지 연습 시킨 후 총 20회씩 2세트로 훈련을 실시하였다(Fig. 1). 본 연구에서는 들숨근의 피로와 호흡곤란을 예방하기 위해 1세트 후 5분 동안 휴식을 실시하였고, 운동 중 어지러움을 호소하는 대상자는 즉시 운동을 멈추고 휴식을 취하였다.

4. 분석방법

자료 통계처리를 위하여 윈도우용 PASW ver. 20.0 (SPSS Inc., Chicago, UAS)을 사용하였다. 콜모고로프-스미르노프 (Kolmogorov-Smirnov)검정 방법을 이용하여 정규성 검정을 실시하였으며, 대상자들의 들숨근 저항운동 전, 후에 대한 가로막의 움직임과 호흡기능을 비교하기 위해 대응표본 t 검정(paired t-test)을 사용하였다. 통계학적 검정을 위한 유의수준 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

III. 연구결과

1. 가로막 움직임 비교

들숨근 저항운동 후 가로막의 움직임은 저항운동을 하지 않았을 때보다 1.45 cm의 차이로 유의하게 증가하였다($p<0.05$)(Table 2)(Fig. 3).

2. 호흡기능 비교

들숨근 저항운동 후 호흡기능은 저항운동을 하지 않았을 때 보다 노력성 폐활량(FVC)은 11.25% 차이로

Table 2. Comparison of diaphragm movement and pulmonary function before and after inspiratory muscle training

	Before	After	t	p
Diaphragm movement (cm)	1.84±.53 ^d	3.29±.49	-14.025	.000
FVC ^a (%)	82.03±28.99	93.29±21.85	-2.329	.028
FEV ₁ ^b (%)	45.22±24.81	52.51±24.5	-3.063	.005
PEF ^c (%)	55.51±19.44	56.96±22.48	-3.206	.004

^aforced vital capacity, ^bforced expiratory volume in 1 sec, ^cpeak expiratory flow, ^dMean±Standard Deviation

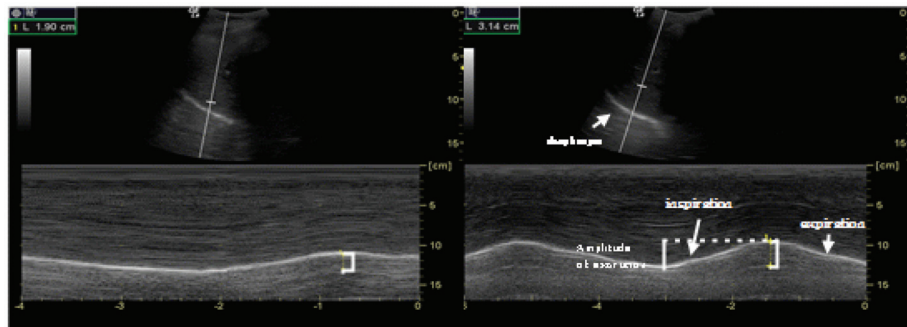


Fig. 3. Diaphragm movement of before and after inspiratory muscle training.

유의하게 증가하였고($p < .05$), 1초 노력성 날숨량(FEV₁)은 6.96% 차이로 유의하게 증가하였으며($p < .05$) 최대날숨속도(PEF)는 8.18% 차이로 유의하게 증가하였다($p < .05$). 단 1초 노력성 날숨량의 노력성 폐활량에 대한 비(FEV₁/FVC)는 1.44%의 차이로 증가는 하였지만 통계학적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다($p < .05$) (Table 2).

IV. 고 찰

본 연구는 젊은 성인 여성 27명을 대상으로 들숨근 저항운동이 가로막의 움직임과 호흡기능에 즉각적으로 미치는 영향을 확인하였다. 연구 결과 가로막 움직임은 저항운동을 실시하였을 때 유의하게 증가하였다. 호흡기능인 노력성 폐활량(FVC), 1초 노력성 날숨량(FEV₁), 최대날숨속도(PEF)도 저항운동을 실시하였을 때 유의하게 증가하였고, 1초 노력성 날숨량의 노력성 폐활량에 대한 비(FEV₁/FVC)는 증가는 하였지만 유의한 차이는 없었다.

가로막 움직임은 호흡패턴에 중요하게 기여되는 요소이지만 상대적으로 평가하기는 어렵다. 이러한 목적으로 사용되는 초음파 M-mode는 비침습적이며, 가로막의 움직임을 빠르고 효율적으로 측정할 수 있는 이점을 가지고 있어, 가로막 평가를 위한 방법으로 알려져 왔다(Epelman 등, 2005; Sarwal 등, 2013). 또한 초음파를 이용한 가로막 움직임 측정은 측정자내 신뢰도가 $r = .99$ 로 매우 높은 것으로 보고된다(Baldwin 등, 2011).

Boussuges 등(2009)의 연구에서 50대 성인들을 대상으로 초음파영상 진단장치의 M-mode를 이용한 연구결과 가로막의 움직임은 남성은 1.8 ± 3 cm, 여성은 1.6 ± 3 cm의 움직임을 보였다. 이는 들숨근 저항운동을 하기 전 가로막의 움직임이 $1.84 \pm .53$ 이 나타난 본 연구 결과와 유사하다. 본 연구가 성인 여성을 대상으로 진행했음에도 Boussuges 등(2009)의 연구 여성의 가로막 움직임 결과보다 2 cm의 큰 움직임을 보인 것은 본 연구는 20대 초반의 성인 여성을 대상으로 측정하여 20대와 50대 여성 간의 연령에 따른 횡격막 움직임의 결과 차이로 해석할 수 있다.

가로막을 포함한 들숨근은 형태학적 및 기능적 관점

에서 골격근으로 분류되며 적절한 생리학적 부하가 가해질 때 다른 운동 근육과 동일한 생리학적 반응을 보이며(Macklem 등, 1978), 저항운동 중 발생하는 압력이나 저항이 가로막에 가해질 때 움직임이 생긴다(McCool 등, 1997). 본 연구 결과 저항운동을 실시한 후 가로막 움직임은 운동 전과 비교하여 유의하게 증가하였으며, 이는 본 연구에서 실시한 들숨근 저항운동이 가로막의 움직임을 야기할 수 있는 적절한 압력과 저항을 야기한다고 볼 수 있다.

최근에는 들숨근 훈련기를 사용한 들숨근 훈련은 만성 폐쇄성 폐질환(COPD), 척수 손상, 다발성 경화증, 파킨슨, 뇌졸중 환자들뿐만 아니라 정상인, 노인에게도 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있다(Cho와 Lee, 2015; Enrico와 Stefania, 2006; Jo 등, 2014; Kim과 Jung, 2013). 또한 들숨근 훈련은 호흡근육과 폐기능 향상을 유도하여 운동내성 및 신체 활동성을 증가시킨다고 보고하고 있다(Sutbeyaz 등, 2010). 건강한 성인을 대상으로 들숨근 훈련의 효과를 가로막 움직임으로 확인해 본 Enright 등(2006)의 연구에서 8주 운동 후 최대 들숨 시 횡격막 움직임과 수축률이 유의한 증가를 보인다고 하였다. 이러한 결과는 본 연구의 들숨근 저항운동 직후 가로막 움직임이 증가한 결과와 유사한 결과를 보이며, 이는 들숨근 훈련을 하는 동안 들숨근육에 부하를 주면 가로막 움직임이 증가하고 여성의 들숨근육 호흡기전의 향상을 가져오게 됨을 보여주고 있다.

본 연구는 호흡기능 검사를 위해 폐활량 측정기를 이용하여 FVC, FEV₁, PEF, FEV₁/FVC의 측정을 실시하였다. 들숨근 저항운동 직후호흡기능 변화를 비교해보면 FVC, FEV₁, PEF에서 유의한 증가를 나타내었으며 이러한 결과는 이전 4주 이상의 들숨근 저항운동을 실시한 연구들의 결과와 유사하다. Kim 등(2000)의 연구에서 뇌졸중 환자를 대상으로 가슴 우리 저항운동, 가로막 호흡운동 등이 포함된 호흡운동을 4주간 실시한 후, 폐활량(vital capacity), FVC, FEV₁, PEF에 유의한 증가를 보였다. 또한 척수 손상 환자에서 저항 들숨근 강화 운동 후 폐활량이 67% 증가되었으며(Liaw 등, 2000), 정상인에서 고빈도 들숨근 훈련을 통해 폐활량, 들숨근력, 들숨지구력이 유의하게 증가되었다(Enright

등, 2006). 이전 연구들과 마찬가지로 본 연구 결과에서 들숨근 저항운동을 했을 시 가로막의 움직임과 호흡기능이 유의하게 향상 되었는데 이는 들숨근 저항운동으로 인한 즉각적인 효과라고 사료된다.

본 연구의 제한점은 첫째, 본 연구는 대상자들이 대부분 20대 초반의 성인여성 이었기 때문에 다른 연령대의 성인여성에게 일반화하기 어려움이 있다고 사료된다. 둘째, 가로막 저항운동의 단기간 효과를 검증하여 장기적 관찰 및 추적 연구 조사를 하지 못하였다. 셋째, 본 연구는 신체 건강한 젊은 성인여성을 대상으로 실시하였기 때문에 환자를 대상으로 하는 임상 현상으로 일반화하기에는 한계점이 있다고 사료된다. 따라서 향후 연구에서 이를 보완하기 위해 다양한 연령대의 여성과 실제 심호흡계 질환 환자들을 대상으로 횡격막의 움직임과 호흡기능의 장기적 변화를 알아보는 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구에서는 들숨근 저항운동이 건강한 성인여성의 가로막 움직임변화와 호흡기능에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위하여 20대 성인여성을 대상으로 실시간 초음파 영상과 폐활량 측정기를 이용하여 알아보았다. 그 결과 들숨근 저항운동 직후가로막의 움직임 증가와 호흡기능의 증가를 보였으며 유의한 변화를 보였다. 이러한 결과로 보아 정상 성인여성이나 호흡기 질환을 가지고 있는 자, 또는 호흡기 질환을 동반한 질환을 가지고 있는 환자에게 들숨근 호흡운동이 가로막 움직임과 호흡기능을 증가시키는 것에 효과적일 것이라는 가능성을 제시하고자 한다.

References

- Annoni JM, Ackermann D, Kesselring J. Respiratory function in chronic hemiplegia. *IntDisabil Stud.* 1990;12(2): 78-80.

- Baldwin CE, Paratz JD, Bersten AD. Diaphragm and peripheral muscle thickness on ultrasound: Intra-rater reliability and variability of a methodology using non-standard recumbent positions. *Respirol*. 2011;16(7):1136-43.
- Boussuges A, Gole Y, Blanc P. Diaphragmatic motion studied by m-mode ultrasonography: Methods, reproducibility, and normal values. *Chest*. 2009; 135(2):391-400.
- Cho YH, Lee SB. Impact of respiratory muscle exercises on pulmonary function and quality of sleep among stroke patients. *J Korean Soc Phys Med*. 2015;10(4):123-5.
- DeVivo MJ, Krause JS, Lammertse DP. Recent trends in mortality and causes of death among persons with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 1999; 80(11):1411-9.
- Enrico C, Stefania C. Inspiratory muscle training: a way to breathe more easily. *Respiration*. 2006;73:143-4.
- Enright SJ, Unnithan VB, Heward C, et al. Effect of highintensity inspiration muscle training on lung volumes, diaphragm thickness, and exercise capacity in subjects who are healthy. *Phys Ther*. 2006;86(3):345-53.
- Epelman M, Navarro OM, Daneman A, et al. M-mode sonography of diaphragmatic motion :description of technique and experience in 278 pediatric patients. *Pediatric Radiology*. 2005;35(7):661-7.
- Finkelstein SM, Lindgren B, Prasad B, et al. Reliability and validity of spirometry measurements in a paperless home monitoring diary program for lung transplantation. *Heart Lung*. 1993;22(6):523-33.
- Fregonezi GA, Azevedo IG, Araujo TL, et al. Adaptation of the threshold IMT with double spring load allows higher inspiratory pressure for muscle training. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2009;29(6):462-4.
- Fry DK, Pflazer LA, Chokshi AR, et al. Randomized control trial of effects of a 10-week inspiratory muscle training program on measures of pulmonary function in persons with multiple sclerosis. *J Neurol Phys Ther*. 2007; 31(4):162-72.
- 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*. 2013;43(12):927-31.
- Hillegass E. *Essentials of cardiopulmonary physical therapy*. 4th ed. St. Louis, Elsevier, 2016:26-7.
- Inzelberg R, Peleg N, Nisipeanu P, et al. Inspiratory muscle training and the perception of dyspnea in Parkinson's disease. *Can J Neurol Sci*. 2005;32(2):213-7.
- Jo MR, Kim NS, Jung JH. The effects of respiratory muscle training on respiratory function, respiratory muscle strength, and cough capacity in stroke patients. *J Korean Soc Phys Med*. 2014; 9(4):399-405.
- Jung J, Shim JM, Kwon IY, et al. Effects of abdominal stimulation during inspiratory muscle training in respiratory function of chronic stroke patient. *J Phys Ther Sci*. 2014;26(1):73-6.
- Kim CB, Choi JD. Effects of chest expansion resistance exercise on chest expansion and maximal inspiratory pressure in patients with stroke. *J Korean Soc Phys Med*. 2015;10(1):15-21.
- Kim NS, Jung JH. The effects of breathing retraining on asymmetry of diaphragm thickness in stroke patients. *J Korean Soc Phys Med*. 2013;8(2):263-9.
- Kim JH, Hong WS, Bae SS. The effect of chest physical therapy on improvement of pulmonary function in the patients with stroke. *J Kor Soc Phys Ther*. 2000;12(2):133-44.
- Kim JS, Oh DW. Real-time ultrasound imaging biofeedback training is diaphragmatic function in nontraumatic cervical spinal cord injury: A single-subject experimental study. *Eur J Physiother*. 2016;19(2): 69-75.
- Liaw MY, Lin MC, Cheng PT, et al. Resistive inspiratory muscle training: its effectiveness in patients with acute complete cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 2000;81(6):752-6.
- Macklem PT, Gross D, Grassino G, et al. Partitioning of

- inspiratory pressure swings between diaphragm and intercostal/accessory muscles. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 1978;44(2):200-8.
- McConnell AK, Romer LM. Respiratory muscle training in healthy humans: resolving the controversy. *Int J Sports Med.* 2004;25(4):284-93.
- McCool FD, Conomos P, Benditt JO, et al. Maximal inspiratory pressures and dimensions of the diaphragm. *Am J Respir Crit Care Med.* 1997;155(4):1329-34.
- 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(4):213-21.
- Sarwal A, Walker FO, Cartwright MS. Neuromuscular ultrasound for evaluation of the diaphragm. *Muscle Nerve.* 2013;47(3):319-29.
- Sutbeyaz ST, Koseoglu F, Inan L, et al. Respiratory muscle training improve cardiopulmonary function and exercise tolerance in subject with subacute stroke: randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* 2010; 24(3):240-50.
- Van K, Hides JA, Richardson CA. The use of real-time ultrasound imaging for biofeedback of lumbar multifidus muscle contraction in healthy subjects. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2006;36(12):920-5.