

# 시각적 피드백을 이용한 호흡운동이 들숨보조근의 근활성도에 미치는 영향

<https://doi.org/10.32337/KACPT.2020.8.1.35>

대한심장호흡물리치료학회지 제8권 제1호 2020, PP.35-40

■ 이재석<sup>1</sup>, 강태욱<sup>2\*</sup>

■ <sup>1</sup>동아대학교병원 재활치료실, <sup>2</sup>워크재활의학과병원 물리치료실

## The Effect of Breathing Exercise Using Visual Feedback on Muscle Activation of Accessory Inspiratory Muscles

Jae-Seok Lee PT<sup>1</sup>, Tae-Wook Kang PT<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Rehabilitation, Dong-A University Hospital

<sup>2</sup>Department of Physical Therapy, Walk Rehabilitation Hospital

**Purpose** : The purpose of this study was to examine the effect of using a Diaphragmatic Pressure Belt (DiP belt). As resistance intensity increases during inspiratory muscle training (IMT), the DiP belt provides diaphragm contraction force as visual feedback on the accessory inspiratory muscles. **Methods** : A total of 30 subjects (18 men and 12 women) were included in this study. The Maximum Inspiratory Pressure (MIP) was measured using a digital MIP device, and accessory inspiratory muscles were measured using surface electromyography. At 0% and 40% of the MIP, changes in muscle activity of the accessory inspiratory muscles were measured with the DiP belt with IMT (DiPIMT) method and the General Diaphragmatic Breathing with IMT (GDBIMT) method. **Results** : When the intensity of IMT was increased from 0% to 40%, the DiPIMT method significantly reduced the muscle activity of the sternocleidomastoid muscle (SCM), while the GDBIMT method showed no significant difference. Scalene muscle activity (SCA) decreased in both methods, but not significantly. In the case of the SCM, DiPIMT was significantly lower in muscle activity than GDBIMT at 40% intensity but showed no significant difference at 0% intensity. In the case of SCA, DiPIMT had significantly lower muscle activity than GDBIMT for both intensities (0% and 40%) and was significantly lower with changes in intensity. **Conclusion** : IMT using a DiP belt is a useful breathing exercise method that lowers the recruitment of accessory inspiratory muscles and allows an appropriate load on the diaphragm muscle.

**Key words** : accessory inspiratory muscles, diaphragmatic breathing, Inspiratory muscle training, visual feedback

**Received** : May 13, 2020 / **Revised** : June 11, 2020 / **Accepted** : June 16, 2020

## I. 서론

가로막 근육의 근력 약화는 노화와 호흡기질환, 신경 및 근육 계질환 등으로 인한 가로막 근섬유 비율 변화와 신경 지배 이상으로 발생한다(서민주 등, 2018; Elliott 등, 2016; Hida 등, 2019; Pasparaki 등, 2017). 가로막 근육의 근력 약화는 가로막의 수축력을 감소시켜 폐활량 감소에 영향을 미친다(Greising 등, 2015; Lee 등, 2017). 결국 들숨근육의 근력감소는 호흡곤란과 들숨근육 피로를 유발해 운동능력을 감소시키고 더 나아가 환자의 생존율에 부정적인 영향을 미친다(Dube와 Dres, 2016).

가로막 근육의 근력강화와 움직임 증가를 목적으로 임상에서는 들숨근육운동기구(inspiratory muscle training; IMT)를 주

로 사용한다. 들숨근육운동기구를 이용한 호흡운동은 노화로 인한 호흡 근력약화를 예방하고 신경계 질환과 호흡기질환 환자의 근지구력과 삶의 질에 긍정적인 영향을 미친다고 알려져 있다(Cho 등, 2018; Souza 등, 2014). 또한 심호흡계질환, 장기침상 환자의 들숨근력강화와 운동능력에 긍정적인 역할을 한다(Geddes 등, 2008; Gosselink 등, 2011; Montemuzzo 등, 2014).

하지만 최근 연구에서는 들숨근육운동기구의 강도가 증가할수록 들숨보조근의 근활성도가 증가한다고 보고하고 있다(Jung과 Kim, 2016; Walterspercher 등, 2018; Yokoba 등, 2003). Andrade 등(2005)은 호흡기질환 환자의 경우 들숨근력운동기구의 저항강도가 증가하면 가로막의 근활성도는 변화 없이 들숨

교신저자: 강태욱

주소: 부산 연제구 고분로13번길 15 워크재활의학과병원 물리치료실, E-mail: gornsapelr@naver.com

보조근의 근활성도만 증가함으로 운동중재 시에 주의가 필요하다고 하였다.

Ramsook 등(2016)은 가로막호흡운동을 이용해 들숨근육운동도구를 사용하면 가로막 근육의 동원을 높이고 들숨보조근의 사용을 감소시킬 수 있다고 하였다. 하지만 노화와 호흡기질환을 가진 환자의 경우 가로막근육 섬유의 구조와 기능, 대사성변화로 인해 가로막호흡 자체를 시행하기도 어렵다(Greising 등, 2015; Laghi와 Tobin, 2003). 그러므로 들숨보조근의 동원은 줄이고 가로막근육에 적절한 부하가 가해지면서 쉬운 방법으로 호흡운동을 하는 방법이 필요하다.

이러한 가로막호흡의 제한점은 가로막 수축력을 시각적으로 확인해서 선택적으로 가로막호흡을 도와주는 장치인 디벨트(Diaphragmatic Pressure Belt; DiP Belt)를 사용하면 가능하다. 디벨트는 들숨량과 강한 양의 상관성을 가지고 높은 측정 신뢰도를 가진 우수한 호흡운동 도구로 알려져 있다(이재석, 2019; Lee 등, 2019).

현재 디벨트를 이용한 들숨저항운동 방법이 저항 강도증가에 따라 들숨보조근 근활성도에 어떠한 영향을 미치는지, 다른 호흡운동방법과 어떠한 차이가 있는지에 관한 연구는 부족하다. 따라서 본 연구는 가로막 수축력을 시각적으로 제공할 수 있는 디벨트를 이용해서 들숨근육운동을 시행할 때, 저항강도가 증가함에 따라 들숨보조근육의 근활성도가 일반적 들숨근육운동방법과 어떠한 차이가 있는지 확인하고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상

연구 대상자는 B시에 거주하는 자로 심장질환, 신경계 질환 병력이 있는 자, 통증으로 검사를 수행할 수 없는 자, 2 주내 호흡기계 감염이 있는 자, 연구자의 지시를 충분히 수행할 수 없는 자는 연구에서 제외하였다. 대상자는 총 30명으로 남성 18명, 여성 12명으로 연구목적에 충분히 숙지한 후 본 연구에 참여하기로 서면동의 하였다.

### 2. 측정 도구 및 방법

#### 1) 표면 근전도 측정

들숨보조근육의 근활성도를 측정하기 위해 표면근전도(4D-MT & EMD-11, Relive, Korea)를 사용하였다. 부착 부위는 소독용 알코올로 깨끗이 닦은 후 근섬유 방향과 일치하게 부착하였으며 전극 간 거리는 2 cm로 설정하였다. 왼쪽 목빗근의 복장갈래 전극은 꼭지돌기에서 복장패임까지 선을 그어서 복장패임 지점에서부터 1/3 지점의 근육힘살에 주행선을 따라 평행하게

전극을 부착하였다. 기준전극은 목뼈 7번 가시돌기에 부착하였다(Falla 등, 2002). 오른쪽 목갈비근의 전극위치는 반지연골높이에서 목뒤삼각 지점에 전극을 부착하였다(Segizbaeva 등, 2013). 근전도 신호의 표본추출률(Sampling rate)은 1,000Hz로 설정하였으며, 20-500Hz 주파수 대역폭의 구간 필터링은 디지털 밴드패스 필터(Digital band-pass filter)를 사용하였고, 전기 신호의 잡음을 제거하기 위해 아날로그 노치필터(Analogue notch filter)를 사용하였다. 수집된 표면근전도 신호는 제곱평균 제곱근법(Root Mean Square; RMS) 값을 사용하였다. 근활성도 분석은 특정 동작의 근수축을 기준으로 하는 기준수축(Reference Voluntary Contraction; RVC) 방법인 %RVC를 사용하였다.

#### 2) 최대들숨압력 측정

최대들숨압력측정기구(PowerBreathe K5, HaB International Ltd, UK)를 사용해서 최대들숨압력을 측정하였다. 대상자는 코마개를 하고 편안하게 앉은 자세에서 측정하였다. 위쪽 공기 흡입구가 막히지 않도록 왼손으로 측정 기구의 뒷부분을 손가락과 엄지로 편안하게 움켜쥐었다. 아랫니와 윗니에 마우스피스(mouthpiece)를 가볍게 물고 공기가 새어 나가지 않도록 입술로 마우스피스를 덮도록 하였다. 대상자는 최대날숨(잔기용량)을 한 후 최대 들숨노력을 1-2초 정도 유지하였다. 최대들숨압력 측정은 3회 실시하였고 그 중 가장 높은 수치를 분석에 사용 하였다. 측정 재현성 수치는 10%로 설정하였고 재현성 수치에 문제가 있을 때는 5분 휴식 후 재측정하였다(ATS/ERS, 2002).

#### 3) 디벨트(Diaphragmatic Pressure Belt; DiP Belt)

Lee 등(2019)이 제시한 방법으로 디벨트를 사용하여 가로막 수축 압력을 수치화하였다. 대상자의 허리와 배 부위 두께가 다양함으로 대상자가 최대 날숨을 하였을 때를 기준압력(10 mmHg)으로 설정하였고, 대상자가 편안한 호흡 주기 동안 날숨 시 기준압력을 유지하는지 확인하였다. 측정자는 대상자에게 “최대로 숨을 크게 들이 마시면서 압력 장치를 밀고 유지해보세요”라고 요구하였다. 최대 들숨 동안 허리의 과다압력으로 압력 수치가 올라가는 경우는 재측정 하였다. 측정은 3회 수행하여 최댓값을 사용하였다.

#### 4) 연구절차

들숨근육운동은 전자식호흡저항운동기구(PowerBreathe K5, HaB International Ltd, UK)를 사용하여 저항강도를 조절하였고 표면근전도를 이용해 목빗근과 목갈비근의 근활성도를 기록하였다. 최대들숨압력의 0% 저항 강도에서 들숨근육운동을 3회 시행할 때 근활성도 3회 구간의 최댓값 %RVC 평균을 산출하였

고 최대들숨압력의 40% 저항강도에서 들숨근육운동을 5회(2회 저항강도 0%, 3회 저항강도 40%) 시행할 때 앞쪽 2회 구간을 제외하고 이후 3회 구간의 근활성도의 최댓값 %RVC 평균을 산출하였다. 두 가지의 들숨근육운동을 시행하기 전 어떠한 교육 없이 최대들숨압력의 0%와 40%에서 들숨근육운동을 시행하였고 측정된 근활성도는 두 가지 들숨호흡운동 방법의 기준이 되는 기준 근활성도로 사용하였다. 두 가지 방법의 들숨근육운동의 근활성도는 기준 근활성도의 상대적 비율로 계산하여 기록하였다. 두 가지 호흡방법은 제비뽑기를 이용해서 순서를 정하였다. 저항강도 0%와 40% 사이에는 1분의 휴식 후 측정하였고, 호흡운동 방법 사이에는 5분의 휴식을 주어서 근육의 피로를 최소화 하였다. 두 가지 호흡운동 방법은 다음과 같다.

#### ① 디벨트를 이용한 들숨근육운동

디벨트를 이용한 들숨근육운동 방법(DiP Belt with IMT; DiPIMT)은 디벨트의 압력계가 배꼽과 칼둘기 사이에 올 수 있도록 고정하고 디벨트의 수축압력이 80% 이상 수치가 되도록 호흡운동교육을 시행하였다. 교육 후 들숨근육운동기구의 0%와 40% 저항강도에서 디벨트를 이용해 들숨근육운동을 시행하였다.

#### ② 일반적 가로막호흡운동 방법을 이용한 들숨근육운동

일반적 가로막호흡운동 방법을 이용한 들숨근육운동(General Diaphragmatic Breathing with IMT; GDBIMT)은 오른손은 배위에 두고 공기를 천천히 들이 마시면서 오른손아래에 있는 배가 앞으로 나올 수 있도록 가로막호흡운동을 교육하였다(Cahalín 등, 2002). 교육 후 들숨근육운동기구의 0%와 40% 저항강도에서 가로막호흡운동을 이용해 들숨근육운동을 시행하였다.

#### 5) 분석방법

각 들숨근육운동 방법을 사용하였을 때 호흡운동 방법과 저항강도의 증가에 따른 들숨보조근(목빗근, 목갈비근)의 근활성도 차이를 확인하기 위해 대응표본 t 검정을 사용하였다. 또한 들숨 저항강도 증가에 따른 두 호흡운동방법의 순수한 효과를 확인하기 위해 공분산분석(ANCOVA)을 사용하였다. 본 연구의 통계분석은 SPSSWIN(ver. 22.0) 프로그램을 사용하였고 유의수준은  $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

### Ⅲ. 연구결과

#### 1. 일반적 특성

본 연구의 대상자는 남성 18명, 여성 12명으로 총 30명으로

구성되었다. 대상자의 평균나이는 23.67 세이고 신장은 168.12 cm, 체중은 66.32 kg이었다. 최대들숨압력의 평균은 78.97 cm H<sub>2</sub>O, 디벨트를 이용한 가로막최대 수축압력은 50.35 mmHg이었다(표 1).

#### 2. 호흡운동방법에 따른 목빗근의 근활성도 차이

들숨 저항의 강도를 0%에서 40% 강도로 증가하였을 때 DiPIMT 방법은 목빗근의 근활성도를 54.43 %RVC에서 43.49 %RVC로 유의하게 감소시켰고( $p<0.05$ ), GDBIMT 방법은 유의한 차이가 없었다. 들숨저항 강도 0%에서 DiPIMT 방법은 GDBIMT 방법보다 목빗근의 근활성도가 유의하게 낮았다( $p<0.01$ ). 또한 40% 저항강도에서도 DiPIMT 방법은 GDBIMT 방법보다 목빗근의 근활성도가 유의하게 낮았다( $p<0.001$ ). 저항강도 증가에 따른 두 가지 호흡운동 방법의 근활성도를 비교하였을 때에는 유의한 차이가 없었다(표 2).

#### 3. 호흡운동방법에 따른 목갈비근의 근활성도 차이

들숨 저항의 강도를 0%에서 40%로 증가하였을 때 DiPIMT 방법과 GDBIMT 방법 모두 목갈비근의 근활성도가 감소하였지만 유의한 차이가 없었다. 들숨저항 강도 0%에서 DiPIMT 방법은 55.10 %RVC로 DBIMT 방법의 73.41 %RVC 보다 유의하게 낮았다( $p<0.01$ ). 들숨저항 강도 40%에서 DiPIMT 방법은 49.65 %RVC로 DBIMT 방법의 65.63 %RVC 보다 유의하게

표 1. 연구대상자의 일반적 특성

(N=30)

| 변수                         | 평균±표준편차     |
|----------------------------|-------------|
| 나이(세)                      | 23.67±3.81  |
| 신장(cm)                     | 168.12±8.39 |
| 체중(kg)                     | 66.32±13.56 |
| 최대들숨압력(cmH <sub>2</sub> O) | 78.97±32.20 |
| 최대가로막수축압력(mmHg)            | 50.35±20.22 |

표 2. 호흡운동방법에 따른 목빗근의 근활성도 차이

(%RVC)

|        | 강도 0%                        | 강도 40%          | t     | F    |
|--------|------------------------------|-----------------|-------|------|
| DiPIMT | 54.43<br>±25.72 <sup>a</sup> | 43.49<br>±23.11 | 2.52* | 3.05 |
| GDBIMT | 65.52<br>±30.09              | 57.37<br>±23.35 | 1.55  |      |
| t      | 2.56**                       | 4.88***         |       |      |

<sup>a</sup>평균±표준편차

\* $p<0.05$ , \*\* $p<0.01$ , \*\*\* $p<0.001$

DiPIMT: DiP Belt and IMT

GDBIMT: General diaphragmatic breathing and IMT

표 3. 호흡운동방법에 따른 목갈비근의 근활성도 차이 (%RVC)

|        | 강도 0%                        | 강도 40%              | t    | F                 |
|--------|------------------------------|---------------------|------|-------------------|
| DiPIMT | 55.10<br>±28.75 <sup>a</sup> | 49.65<br>±21.38     | 1.48 | 4.84 <sup>*</sup> |
| GDBIMT | 73.41<br>±28.39              | 65.63<br>±19.11     | 1.04 |                   |
| t      | 3.15 <sup>**</sup>           | 5.22 <sup>***</sup> |      |                   |

<sup>a</sup>평균±표준편차

\*p&lt;.05, \*\*p&lt;.01, \*\*\*p&lt;.001

DiPIMT: DiP Belt and IMT

GDBIMT: General diaphragmatic breathing and IMT

낮았다(p<.001). 저항강도 증가에 따른 두 가지 호흡운동 방법의 근활성도를 비교한 결과 운동강도가 증가했을 때 DiPIMT 방법은 목갈비근의 근활성도를 유의하게 감소시켰다(p<.05)(표 3).

#### IV. 고 찰

들숨근육운동은 호흡 근력과 운동능력의 증가, 삶의 질을 개선시킨다고 알려져 있다(Abreu 등, 2017; Smart 등, 2013). Langer D 등(2018)은 들숨근육운동은 가로막근육의 신경학적 동원을 감소시켜 호흡곤란과 운동능력을 개선하였다. 하지만 Ramsook 등(2017) 연구에서 5주간 들숨근육운동을 중재 후 최대들숨압력 증가와 호흡곤란을 완화시키지만, 호흡근육의 근활성도에 어떠한 변화는 없다고 하였다. 두 가지 상반된 연구는 들숨근육운동 교육방법에 차이가 있을 수도 있다. 또한 선행연구와 같이 들숨근육운동은 호흡근력(최대들숨압력)을 증가시킨다고 하지만 최대들숨압력은 목 주위 들숨근육 동원과 연관성이 높다는 연구가 있음으로(Washino 등, 2019) 들숨근육운동이 호흡근력을 증가시켰다고 하기는 어려울 수 있다. 정상적인 호흡패턴을 할 수 없는 환자에게 들숨근육운동이 어떠한 메카니즘으로 긍정적인 역할을 하는지 의문이며 들숨근육운동이 잘못된 호흡형태를 고착한다는 문제점을 지적하는 연구들도 있다(Jung과 Kim, 2016; Ramsook 등, 2016). 본 연구는 들숨근육운동을 하는 동안 들숨보조근의 사용을 최소화하고 가로막근육의 근력증진을 위한 방법을 고안하였다.

시각적피드백을 이용해서 들숨근육운동을 시행한 DiPIMT 방법은 40%로 저항강도를 증가시켰을 때 목갈비근의 근활성도를 감소시켰고 0%와 40% 모두 GDBIMT 방법보다 목갈비근의 근활성도가 낮았다. 목갈비근의 경우 DiPIMT 방법이 들숨저항강도 0%와 40% 모두 GDBIMT 방법보다 목갈비근의 근활성도가 낮았고 강도증가에 따른 두 가지 호흡운동 방법을 비교하였을 때에도 DiPIMT 방법이 목갈비근의 근활성도가 더 낮았다.

Andrade 등(2005)은 COPD 환자의 경우 들숨저항강도 30%에서 목갈비근의 근활성도가 28% 유의하게 증가하고 노인의 경우 유의하지 않지만 7% 근활성도가 증가한다고 하였다. Jung과 Kim(2016) 연구에서는 들숨저항강도 60%와 80%에서 목갈비근의 근활성도가 0%보다 유의하게 증가했다고 보고하였다. 잘못된 호흡방법으로 들숨근력운동은 호흡보조근의 동원을 더욱 증가시킨다는 것이다. Ramsook 등(2016) 연구에서 최대들숨압력의 40% 저항강도에서 가로막호흡운동 교육을 한 후에는 대상자의 가로막근육의 근활성도, 횡단가로막압력이 증가하고 목갈비근의 근활성도가 유의하게 감소한다고 하였다. 가로막호흡에 대한 교육은 호흡보조근의 근활성도를 감소시키는 것으로 본 연구와 일치하며, 시각적피드백을 이용한 DiPIMT 방법은 가로막호흡방법보다 호흡보조근을 감소시키는 것으로 조금 더 효과적으로 호흡운동을 중재할 수 있는 장점이 있다.

DiPIMT 방법이 호흡보조근을 감소시키고 가로막근육의 동원을 증가시켰다는 것은 Lee 등(2019)의 연구에서 덤벨트의 최대 가로막수축압력은 들숨유량과 강한 양적상관성(r=.71)보인다는 것을 통해서 확인할 수 있다. 최대가로막수축압력은 가로막호흡방법을 수치화한 것으로 가로막의 수축력이 좋으면 흡기유량이 높다는 것을 통해 가로막근육의 수축력을 확인 할 수 있다. 또한 Kim 등(2012)은 MRI 촬영 시 Audiovisual biofeedback은 가로막 움직임의 재연성을 높여 MRI 촬영에 긍정적인 역할을 한다고 하였다. 이러한 생체피드백은 가로막근육을 효과적으로 조절이 가능하다는 것을 영상을 통해 확인할 수 있다는 것을 알 수 있다. Monteiro 등(2012)은 호흡을 할 때 배위에 무게를 올리는 것은 고유수용성감각이 더욱 증가되어 가로막수축력이 증가한다고 하였다. DiPIMT 방법은 배위에 무게 자극과 같은 압력벨트와 압력수치를 확인 할 수 있는 시각적 정보를 통해 가로막수축을 더욱 더 자극 한다고 할 수 있다.

본 연구에서는 DiPIMT 방법이 호흡보조근을 조금 더 감소시키면서 들숨근력운동을 할 수 있다는 것을 확인 할 수 있었다. 하지만 가로막의 변화를 실시간으로 확인 할 수 없어 추후 연구에서는 영상 장비를 통해 가로막의 수축력과 움직임을 확인하는 연구가 필요하다고 사료 된다.

#### V. 결 론

시각적 피드백을 이용한 들숨근육운동은 저항강도를 증가시킬 때 목갈비근의 근활성도를 감소시키고 일반적 들숨근육운동방법보다 낮은 근활성도를 보인다. 목갈비근의 경우 저항도와 중강도에서 일반적 들숨근육운동보다 낮은 근활성도를 보이며 시각적 피드백을 이용한 들숨근육운동이 목갈비근의 근활성도를 효과적으로 감소시킨다. 그러므로 덤벨트를 이용한 들숨근육운동은 들숨

보조근의 동원률은 낮추고 들숨주동근인 가로막 근육을 강화 시킬 수 있는 유용한 운동방법이다.

## 참고문헌

- 서민주, 송유정, 장진선 등. 여자노인에서 연령증가에 따른 폐기능의 변화. 대한심장호흡물리치료학회지, 6(1);23-29, 2018.
- 이재석. 가로막 수축력 측정 및 가로막호흡 유도를 위한 디벨트 (DiP Belt)의 유용성 연구. 신라대학교 일반대학원, 박사학위논문;46-58, 2019.
- Abreu RM, Rehder-Santos P, Minatel V, et al. Effects of inspiratory muscle training on cardiovascular autonomic control: A systematic review. *Auton Neurosci*, 208;29-35, 2017.
- Andrade AD, Silva TN, Vasconcelos H, et al. Inspiratory muscular activation during threshold therapy in elderly healthy and patients with COPD. *J Electromyogr Kinesiol*, 15(6);631-639, 2005.
- ATS/ERS(American Thoracic Society/European Respiratory Society). Statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med*, 166(4);518-624, 2002.
- Cho JE, Lee HJ, Kim MK, et al. The improvement in respiratory function by inspiratory muscle training is due to structural muscle changes in patients with stroke: a randomized controlled pilot trial. *Top Stroke Rehabil*, 25(1);37-43, 2018.
- Dubé BP, Dres M. Diaphragm Dysfunction: Diagnostic Approaches and Management Strategies. *J Clin Med*, 5(12);5, 2016.
- 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.
- Falla D, Dall'Alba P, Rainoldi A, et al. Location of innervation zones of sternocleidomastoid and scalene muscles a basis for clinical and research electromyography applications. *Clin Neurophysiol*, 113(1);57-63, 2002.
- Geddes EL, O'Brien K, Reid WD, et al. Inspiratory muscle training in adults with chronic obstructive pulmonary disease: an update of a systematic review. *Respir Med*, 102(12);1715-1729, 2008.
- Gosselink R, De Vos J, Van Den Heuvel SP, et al. Impact of inspiratory muscle training in patients with COPD: what is the evidence? *Eur Respir J*, 37(2);416-25, 2011.
- Greising SM, Mantilla CB, Medina-Martínez JS, et al. Functional impact of diaphragm muscle sarcopenia in both male and female mice. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*, 309(1);L46-52, 2015.
- Hida T, Yamada Y, Ueyama M, Araki T, 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.
- Jung JH, Kim NS. Relative activity of respiratory muscles during prescribed inspiratory muscle training in healthy people. *J Phys Ther Sci*, 28(3);1046-1049, 2016.
- Kim T, Pollock S, Lee D, et al. Audiovisual biofeedback improves diaphragm motion reproducibility in MRI. *Med Phys*, 39(11);6921-6928, 2012.
- Laghi F, Tobin MJ. Disorders of the respiratory muscles. *Am J Respir Crit Care Med*, 168(1);10-48, 2003.
- Langer D, Ciavaglia C, Faisal A, et al. Inspiratory muscle training reduces diaphragm activation and dyspnea during exercise in COPD. *J Appl Physiol*, 125(2);381-392, 2018.
- Lee J, Kang T, Yeo Y, et al. The change of lung capacity in elderly women caused by life span. *J Phys Ther Sci*, 29(4);658-661, 2017.
- Lee JS, Han DW, Kang TW. Correlation between the Diaphragmatic Contraction Pressure and the Slow Vital Capacity. *J Korean Soc Phys Med*, 14(3);47-53, 2019.
- Monteiro SG, Pessolano FA, Suárez AA, et al. Study of diaphragmatic muscle function during abdominal weight in normal subjects. *Medicina (B Aires)*, 72(2);98-102, 2012.
- Montemezzo D, Fregonezi GA, Pereira DA, et al. Influence of inspiratory muscle weakness on inspiratory muscle training responses in chronic heart failure patients: a systematic review and meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil*, 95(7);1398-407, 2014.
- Pasparaki E, Bibaki E, Meletis Y, et al. Neuromuscular diseases and respiratory system. *Pneumon*, 30(3);176-187, 2017.
- Ramsook AH, Koo R, Molgat-Seon Y et al. Diaphragm Recruitment Increases during a Bout of Targeted

- Inspiratory Muscle Training. *Med Sci Sports Exerc*, 48(6);1179-1186, 2016.
- Ramsook AH, Molgat-Seon Y, Schaeffer MR, et al. Effects of inspiratory muscle training on respiratory muscle electromyography and dyspnea during exercise in healthy men. *J Appl Physiol*, 122(5);1267-1275, 2017.
- Segizbaeva MO, Donina ZhA, Timofeev NN, et al. EMG analysis of human inspiratory muscle resistance to fatigue during exercise. *Adv Exp Med Biol*, 788;197-205, 2013.
- Smart NA, Giallauria F, Dieberg G. Efficacy of inspiratory muscle training in chronic heart failure patients: a systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiol*, 167(4);1502-1507, 2013.
- Souza H, Rocha T, Pessoa M, et al. Effects of inspiratory muscle training in elderly women on respiratory muscle strength, diaphragm thickness and mobility. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 69(12);1545-1553, 2014.
- Walterspacher S, Pietsch F, Walker DJ, et al. Activation of respiratory muscles during respiratory muscle training. *Respir Physiol Neurobiol*, 247;126-132, 2018.
- Washino S, Mankyu H, Kanehisa H, et al. Effects of inspiratory muscle strength and inspiratory resistance on neck inspiratory muscle activation during controlled inspirations. *Exp Physiol*, 104(4);556-567, 2019.
- Yokoba M, Abe T, Katagiri M, et al. Respiratory muscle electromyogram and mouth pressure during isometric contraction. *Respir Physiol Neurobiol*, 137(1);51-60, 2003.