

Research Article

Open Access

호흡훈련이 뇌졸중 환자의 횡격막 비대칭에 미치는 영향

김난수 · 정주현[†]

부산가톨릭대학교 물리치료학과, ¹김해굿모닝병원

The Effects of Breathing Retraining on Asymmetry of Diaphragm Thickness in Stroke Patients

Nan-Soo Kim, PT, PhD, Ju-Hyeon Jung, PT, MS^{††}

Department of Physical Therapy, Catholic University of Pusan, ¹Department of Physical Therapy, Gimhae Good morning Hospital

Received: March 13, 2013 / Revised: April 27, 2013 / Accepted: May 14, 2013

© 2013 Journal of the Korean Society of Physical Medicine

| Abstract |

PURPOSE: The purpose of this study was to examine the effects of breathing retraining on asymmetry of diaphragm thickness in stroke patients.

METHODS: This study was nonequivalent control group pre-post test design. Subjects were assigned to two different groups(intervention group=10, control group=12). Intervention group conducted breathing retraining program for six-week. Diaphragm thickness was assessed by ultrasound in B-mode with a 7.5 MHz linea probe. The collected data analyzed by Wilcoxon signed rank test and Mann-Whitney U test.

RESULTS: The intervention group significantly increased diaphragm thickness ratio on paretic side but the control group showed no significant difference in diaphragm thickness ratio. The control group significantly increased asymmetry of diaphragm thickness, but intervention group showed no significant difference in asymmetry of diaphragm thickness.

CONCLUSION: This study showed that breathing retraining increased diaphragm thickness ratio in stroke patients and prevent the increase of asymmetry in diaphragm

thickness with stroke patients.

Key Words: Asymmetry of diaphragm, Breathing retraining, Stroke

I. 서론

뇌졸중으로 인한 편마비는 편측에 전반적인 근육의 약화와 위축을 초래하여 70%정도의 환자에게 만성적인 장애를 남긴다(Duncan 등, 2002). 또한 수의적 운동 기능과 체간 근육의 협동작용을 손상시켜 자세 및 근 긴장도, 운동조절의 이상을 가져올 수 있다(De Almeida 등, 2011). 그 결과 호흡근육의 협동작용에 필요한 운동 조절 기능이 손상되어(Britto 등, 2011), 건강한 일반인을 기준으로 한 예측치보다 노력성 폐활량(forced vital capacity; FVC)과 1초간 노력성 호기량(forced expiratory volume in the first second; FEV₁), 최대호기속도(peak expiratory flow; PEF)가 50%정도 감소할 수 있다(Khedr 등, 2000). 그러나 신경학적 손상을 받은 환자들은 주로 좌식생활을 하게 되므로 힘든 활동이나 흉부 감염으로 인해 산소요구량이 증가되기 전까지는 호흡의 문제가 간과되기 쉽다(Sutbeyaz 등, 2010).

[†]Corresponding Author : hyuni610@naver.com

뇌졸중 환자에게서는 편측 뇌손상으로 반대측 흉곽의 움직임과 횡격막 운동이 감소된다(Howarda 등, 2001). De Almeida 등(2011)은 뇌졸중 환자에게서는 마비측의 횡격막 운동이 감소하여 상대적으로 비마비측 횡격막의 운동이 더욱 크게 나타나고, Lanini 등(2003)은 수의적인 과환기 동안 마비측 흉부의 호흡운동과 횡격막 운동 및 근 활성도가 감소된다고 하였다. Korczyń 등(1969)도 편마비 환자에게서는 건강한 대조군에 비해 마비측과 비마비측 횡격막의 비대칭이 증가된다고 보고하였다. 가장 주요한 호흡근인 횡격막의 이러한 변화로 호흡근의 기능이상이 나타날 수 있다(Cohen 등, 1994).

호흡근의 기능은 환자의 운동능력 향상과 운동에 대한 심장호흡계가 정상적으로 반응하는 것에 기여하는데, 이러한 호흡근 기능을 개선시키기 위해서는 근력의 증가가 수반되어야 한다. 따라서 호흡근이 손상되어 호흡기능에 부전이 나타나면 호흡근 훈련이 필요하다(Sutbeyaz 등, 2010). 호흡훈련은 호흡근이 약화된 환자에게 호흡근의 기능을 향상시킬 뿐만 아니라(Lee 등, 2009), 운동능력을 증가시키고 호흡근란을 개선시키고 삶의 질을 향상시킬 수 있다(Sutbeyaz 등, 2010).

횡격막을 포함한 호흡근은 형태적으로나 기능적으로 골격근이므로 다른 골격근처럼 적절한 생리적 부하를 이용한 훈련에 따라 반응이 나타난다(Enright 등, 2011). 즉 적절한 부하를 이용한 호흡훈련으로 횡격막의 두께가 증가할 수 있다는 것이다. Jung과 Kim(2013)은 흡기근 훈련으로 뇌졸중 환자의 휴식 시 횡격막 두께와 최대 흡기 시 횡격막 두께가 증가되었다고 보고하였다. 이러한 횡격막 두께의 변화는 폐용적과 밀접한 관련이 있어 횡격막 두께가 두꺼워지면 폐용적이 증가하고(Kaneko 등, 2010), 호흡근의 효율성을 증가시키거나 호흡기전을 개선시킨다(Enright 등, 2006). 그러나 호흡훈련이 뇌졸중 환자의 마비측과 비마비측 횡격막의 비대칭에 미치는 효과를 검증한 연구는 매우 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 횡격막 두께를 측정하여 호흡훈련이 뇌졸중 환자의 횡격막의 비대칭에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상자는 컴퓨터 단층 촬영을 통해 뇌졸중을 진단받고 대뇌반구의 한 부분을 손상 받고 편측마비인 환자를 대상으로 하였다. 6개월 이상 된 뇌졸중 환자 중 입원으로 물리치료를 받고 있으나 폐 기능의 향상을 위해 특별한 치료를 받고 있지 않으면서 복부수술을 시행하지 않은 자를 선정하였다. 선천적 흉곽의 변형이나 늑골 골절 및 폐, 신장, 내분비계, 정형 또는 류마티스 질환으로 인해 호흡기계 훈련이 불가능한자는 제외하였다. 모든 연구 대상자에게 본 연구의 목적과 내용을 설명하고 참여 동의를 받았다. 연구대상은 모집시기에 따라 임의로 실험군 13명과 대조군 14명으로 분류하였다. 연구 진행 중 조기 퇴원한 3명과 혈압상승 및 어지러움을 호소한 2명이 탈락하여 최종적으로 실험군 10명과 대조군 12명이 참여하였다.

두 집단 모두에게 뇌졸중 환자를 위한 일반적인 운동 치료를 6주간 주 5회 30분씩 실시하고, 실험군에만 호흡훈련을 추가적으로 6주간 주3회 20분씩 실시하였다. 본 연구는 중재 전과 후 두 집단의 횡격막 두께를 측정하여 비교한 비동등 통제집단 전후 유사실험설계이다.

2. 측정방법

1) 폐 기능

폐 기능의 측정은 폐 활량계(Chestgraph HI 101, Chest M.I. Inc, 일본)를 사용하였다. 정확한 측정을 위하여 대상자에게 측정방법 충분히 설명을 하고 시범을 보여 주었다. 그리고 대상자는 고관절을 90° 굴곡하고 앉은 자세에서 측정을 받았다. 제한성 폐질환의 유무를 확인하기 위해 노력성 폐활량(FVC)을 측정하였고, 폐쇄성 폐질환을 확인하기 위해 1초간 노력성 호기량(FEV1)을 측정하였다. 또한, 1초간 노력성 호기량의 노력성 폐활량에 대한 비(FEV1/FVC)를 이용하여 폐쇄성 폐질환의 유무를 판단하였고, 최대 호기속도(PEF)를 측정하여 기도저항을 확인하였다. 폐 기능 측정은 최소 3회 검사하여 검사치 중에서 가장 큰 수치와 그 다음 큰 수치

사이의 차이가 5% 이내 또는 200ml이내가 되도록 하여 가장 큰 수치를 선택하였다(Seo, 2012).

2) 횡격막 두께

초음파는 B-mode M12L High-Frequency Linear Transducer(5.0-14.0MHz)(Logiq 7, GE사, 미국)를 사용하였다. 모든 대상자는 바로 선 자세에서 양쪽 8번~9번 늑골사이 mid axillary line을 확인 후, 90도로 바로 앉은 자세에서 Linear Transducer(5.0-14.0MHz)을 직각 방향으로 흉벽에 비추어서 8번~9번 늑골 사이의 부위를 2차원 영상으로 확인하였다. 횡격막의 두께는 늑막 중간과 복막 중간에 밝게 보이는 2개의 평행한 선의 거리이며 이를 3회 측정하여 평균값을 산출하였다(Enright 등, 2006).

휴식시 횡격막 두께(Tdi.rel)는 기능적 잔기용량(FRC)에서 코마개와 폐활량계의 마우스피스를 착용 후 가장 안정된 호흡 상태에서 측정하였으며, 측정자내 신뢰도는 0.84~0.86이었다. 최대 흡기시 횡격막 두께(Tdi.cont)는 최대 흡기압(PImax)을 2초 동안 유지한 상태에서 측정하였으며, 측정자내 신뢰도는 0.94~0.95이었다. 횡격막의 수축률(TR)은 최대 흡기시 횡격막 두께 값을 휴식시 횡격막 두께 값으로 나누어 계산하였다(Ueki 등, 1995).

횡격막의 비대칭율은 다음 공식에 각각 휴식시 횡격막 두께와 최대 흡기시 횡격막 두께 값을 넣어 휴식시 횡격막 두께 비대칭율과 최대 흡기시 횡격막 두께 비대칭율을 산출하였으며, 그 절대 값이 클수록 비대칭 정도가 크고 절대 값이 적을수록 비대칭 정도가 적다는 것을 의미한다(Hsu 등, 2003).

횡격막 비대칭율(asymmetry ratio) = $|1 - (\text{환측의 횡격막 두께} / \text{비환측의 횡격막 두께})|$

3. 호흡훈련 프로그램

호흡훈련은 미국흉부학회(American Thoracic Society; ATS)의 호흡운동 프로그램을 바탕으로, 전문교육을 받은 동일한 치료사가 6주간 주3회 20분씩 실시하였다. 호흡근 강화를 위해 탄력 밴드를 흉골 검상돌기 아래

8번과 12번 늑골 사이에 위치하여 대상자가 최대흡기시 약간의 답답함을 느낄 수 있도록 묶은 후(Kim 등, 2012; Lim 등, 2011), 흡식 호흡운동과 횡격막 호흡운동을 10회씩 2세트 각각 교대로 천천히 호흡하는 방법으로 실시하고(Seo, 2012), 상부흉곽 및 견관절 가동(Antero-posterior upper costal chest wall mobilization)을 위해 10회씩 2세트 실시하였다(Kisner와 Colby, 2010). 호흡훈련의 시작과 마지막은 이완된 자세에서 횡격막 호흡을 6회씩 2세트 실시하였다.

4. 자료처리 및 분석방법

본 실험에서 수집된 자료는 PASW statistics for Windows(version 18.0)를 이용하여 분석하였다. 모든 변수는 기술통계로 평균 및 표준편차를 산출하였다. 각 집단의 중재 전후 변화는 Wilcoxon signed rank test로 분석하였고, 두 집단 간의 차이는 Mann-Whitney U test로 분석하였다. 통계검정의 유의수준을 $\alpha = 0.05$ 로 정하였다.

III. 연구 결과

연구 대상자의 일반적 특성은 (Table 1)과 같으며 실험 전 두 집단의 동질성을 분석한 결과 연령과 신장, 체중, BMI, FIM 등의 대상자의 일반적 특성과 폐 기능에서 유의한 차이가 없었다.

실험군에서 중재기간 전후의 휴식시 횡격막 두께는 마비측에서 유의한 변화가 없었고($p>.05$), 비마비측에서도 유의한 변화가 없었다($p>.05$). 최대 흡기시 횡격막 두께는 마비측에서 유의한 증가가 있었고($p<.05$), 비마비측은 유의한 변화가 없었다($p>.05$). 수축률은 마비측과 비마비측 모두 유의한 증가가 있었다($p<.05$). 대조군에서 중재기간 전후의 휴식시 횡격막 두께와 최대 흡기시 횡격막 두께, 수축률 모두 유의한 변화가 없었다($p>.05$) 실험 전에는 실험군과 대조군 사이에 유의한 차이가 없었으나 6주 중재 후 휴식시 횡격막 두께와 마비측의 수축률에서 두 집단 간에 유의한 차이가 있었다($p<.05$). (Table 2).

Table 1. General characteristics of subjects

	Intervention group (N=10)	Control group (N=12)	p
Age (years)	55.40±5.05	58.91±11.55	.567
Height (cm)	157.71±7.12	162.65±10.30	.198
FIM	93.10±15.52	81.91±16.53	.463
Body weight (kg)	60.46±11.86	58.64±8.21	.898
Sex (male/female)	5/5	8/4	.445
BMI (kg/m ²)	24.22±4.07	22.15±2.16	.132
Time since stroke (months)	41.50	34.13	.476
Paretic side (R/L)	5/5	6/6	.897
Type of stroke (H/I)	5/5	6/6	.646
Walk ability (IW/NW)	6/4	5/7	.621
FVC (L)	1.81±0.57	1.86±0.78	.961
FEV ₁ (L)	1.68±0.45	1.64±0.71	.986
FEV ₁ /FVC (%)	93.94±5.77	87.86±10.62	.251

FIM: Functional independence measure

BMI: Body mass index

H: Hemorrhage

I: Infarction

IW: Independent walking(MMAS≥4)

NW: Non-independent walking(MMAS≤4)

Table 2. Comparisons of diaphragm thickness after intervention

	Group	Paretic side	Pretest	Posttest	z	p	
			M±SD	M±SD			
Tdi _{rel} (cm)	Intervention	Paretic	0.18±0.03	0.18±0.01	-.593	.553	
	Control		0.20±0.03	0.20±0.01			-.746
			p	.050	.001		
	Intervention	Non-Paretic	0.19±0.03	0.17±0.02	-1.585	.113	
	Control		0.20±0.03	0.19±0.02			-.969
			p	.093	.093		
Tdi _{con} (cm)	Intervention	Paretic	0.31±0.04	0.36±0.04	-2.090	.037	
	Control		0.33±0.06	0.34±0.07			-.445
			p	.180	.456		
	Intervention	Non-Paretic	0.32±0.04	0.36±0.05	-1.599	.110	
	Control		0.35±0.07	0.34±0.08			-.533
			p	.283	.821		
TR	Intervention	Paretic	1.67±0.23	2.01±0.23	-2.803	.005	
	Control		1.65±0.25	1.70±0.29			-.314
			p	.872	.009		
	Intervention	Non-Paretic	1.73±0.28	2.07±0.35	-2.293	.022	
	Control		1.72±0.30	1.78±0.41			-.863
			p	.674	.159		

Tdi_{rel}: Diaphragm thickness at functional residual capacityTdi_{con}: Diaphragm thickness at total lung capacity

TR: Thickening ratio

Table 3. Comparisons of Asymmetry of diaphragm thickness after intervention

	Group	Pretest	Posttest	t	p
		M±SD	M±SD		
Asymmetry of Tdi _{rel}	Intervention	.034±.024	.060±.047	-1.070	.285
	Control	.056±.051	.151±.102	-2.589	.010
		.582	.021		
Asymmetry of Tdi _{con}	Intervention	.134±.160	.108±.100	-.255	.799
	Control	.089±.062	.202±.118	-2.040	.041
		.923	.093		

Tdi_{rel}: Diaphragm thickness at functional residual capacity

Tdi_{con}: Diaphragm thickness at total lung capacity

실험군의 휴식시 횡격막 두께의 비대칭율과 최대 흡기시 횡격막 두께의 비대칭율은 유의한 변화가 없었다. 그러나 대조군의 휴식시 횡격막 두께의 비대칭율과 최대 흡기시 횡격막 두께의 비대칭율은 유의하게 증가하였다(Table 3).

IV. 고찰

뇌졸중 환자에게는 호흡기계 증상이나 질병은 흔하지 않기 때문에, 뇌졸중 환자의 재활에서 호흡기계 검사는 중요한 관심을 받지 못하였다(Sutbeyaz 등, 2010; Xiao 등, 2012). 그러나 편마비 환자는 동일 연령과 성별의 건강한 대조군과 비교했을 때 X-선 촬영에서 양측 횡격막의 비대칭이 증가되어있고(Korczyń 등, 1969), 초음파 M-mode를 이용하여 측정한 횡격막 운동에서도 마비측이 비마비측에 비해 횡격막의 운동이 감소되어 양측 횡격막의 비대칭이 증가되어 있다(Cohen 등, 1994). 횡격막의 비대칭은 호흡근의 협동작용을 감소시켜 호흡계의 기능부전을 초래하여 운동능력의 감소와 일상적인 기능에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서 뇌졸중 후 환자들에게 심호흡계 기능저하와 질환을 예방하기 위해서는 호흡 및 유산소 프로그램이 필요하다(Sezer 등, 2004).

초음파는 환자의 횡격막의 비대칭성을 간단하게 측정할 수 있는 장비이다(Cohen 등, 1994), 그 동안 여러 연구자들이 뇌졸중 환자의 호흡기능을 측정하기 위해

초음파의 M-mode를 이용하여 횡격막 전위를 연구하였다(Cohen 등, 1994). 초음파의 M-mode를 이용하여 횡격막의 전위를 측정하면 복부가 움직일 때 탐침이 흔들리는 제한 점이 있지만, B-mode를 이용하여 횡격막 두께를 측정하면 복부가 움직임에 동요되지 않아 신뢰도(Chon 등, 1997; Kaneko 등, 2009)와 재현가능성이 높다(Enright와 Unnithan, 2011). 따라서 본 연구에서는 뇌졸중 환자의 안정시 및 최대 흡기시 횡격막 두께를 측정하여 호흡훈련이 횡격막 두께의 비대칭성에 미치는 영향을 조사하였다.

호흡훈련의 일반적인 목표는 손상된 횡격막의 기능을 회복하여 호흡의 일률을 감소시켜 호흡곤란을 예방하고 운동능력을 증가시키는 것이다(Sezer 등, 2004). Enright 등(2006)은 건강한 성인을 대상으로 한 8주의 고강도 흡기근훈련(IMT)을 실시한 결과 호흡 훈련군에서 최대 흡기시 횡격막 두께와 수축률이 증가되는 횡격막의 형태학적 변화가 나타나서 흡기근 기능이 개선되고 폐용량이 증가되었다고 보고하였다. Kaneko 등(2010)도 최대 흡기시 횡격막 두께의 변화는 폐용량과 밀접한 관련이 있다고 보고하였다. 이러한 연구결과들은 횡격막 두께의 증가가 신체적 작업능력과 관련이 있는 흡기근의 기능을 증대시켜 건강한 성인의 운동능력을 개선시킬 수 있음을 제시한다(Enright 등, 2006). 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 흡기근 저항훈련을 6주간 실시하고 대조군과 중재 후 횡격막 두께의 변화를 비교한 연구에서도 흡기근 저항훈련군에서만 마비측과 비마비측 최대흡기시 횡격막 두께와 수축률이 증가하고 폐

기능도 개선되었다(Jung과 Kim, 2013). 본 연구에서는 호흡근 강화와 흉부가동성 중심의 훈련을 6주간 추가로 실시한 실험군에서 대조군에 비해 중재 후 마비측의 최대 흡기시 횡격막 두께와 수축률이 증가하였으나 비마비측의 횡격막 두께에는 변화가 없었다. 이러한 선행 연구 결과와의 차이는 본 연구의 호흡훈련이 흡기근 저항훈련보다 횡격막에 직접적인 부하를 적게 주었기 때문으로 사료된다. 그러나 마비측의 최대 흡기시 횡격막 두께와 수축률이 증가된 결과는 본 연구의 호흡훈련이 폐용량을 개선시킬 수 있음을 시사해 준다.

많은 선행연구 결과들은 마비측 횡격막의 운동이 감소되어 있음을 보고하고 있다(De Almeida 등, 2011). 하지만 호흡훈련이 이런 마비측과 비마비측의 횡격막 비대칭에 미치는 영향을 살펴본 연구는 거의 없다. 본 연구에서 6주간 호흡훈련 후 마비측과 비마비측의 횡격막 두께의 비대칭을 연구한 결과 실험군에서 횡격막 두께의 안정시와 최대 흡기시 비대칭에는 변화가 없었으나, 대조군에서 통계적으로 유의하게 비대칭성이 증가함을 발견하였다. 비록 본 연구를 통하여 호흡훈련이 뇌졸중 환자의 횡격막의 비대칭성이 개선(개선될 수 있음을 검증하지 못하였으나, 적절한 호흡훈련을 받지 못할 경우 뇌졸중 환자의 횡격막의 비대칭이 더 증가할 수 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 횡격막의 비대칭 증가는 호흡근의 협동작용을 감소시키기 때문에 호흡기능의 장애를 더 증가시킬 수 있음을 제시해준다(Sutbeyaz 등, 2010).

본 연구에서는 연구 대상자의 수가 적고, 실험군과 대조군을 무작위로 분류하지 못하고, 단기간의 중재효과를 검증하였으므로 향후 이러한 제한점을 보완한 연구가 수행되어야 할 것이다. 특히 뇌졸중 환자는 퇴원 이후에도 대부분 편마비 장애를 갖게 되므로, 본 연구 결과에서처럼 호흡훈련을 받지 못할 경우에는 뇌졸중 환자의 횡격막 두께의 비대칭이 증가될 수 있다. 따라서 추후 퇴원한 환자를 대상으로 무작위로 실험군과 대조군을 분류하여 장기간의 호흡훈련의 효과를 검증하는 연구가 필요하다.

V. 결론

본 연구에서는 6주간 호흡훈련이 뇌졸중 환자의 마비측과 비마비측의 횡격막 두께의 비대칭에 미치는 영향을 알아보았다. 그 결과 호흡훈련으로 마비측 횡격막 두께와 수축률이 증가하였지만, 마비측과 비마비측의 횡격막 두께의 비대칭에는 유의한 변화가 나타나지 않았다. 그러나 대조군에서는 6주 후 횡격막 두께의 비대칭이 증가하는 부정적인 결과가 나타나서, 뇌졸중 환자에게 호흡훈련을 중재하지 않을 경우에는 횡격막의 두께의 비대칭이 증가할 수 있음을 확인하였다.

뇌졸중 환자의 횡격막 두께는 폐용량과 밀접한 관련을 갖고 있어 횡격막 두께의 증가는 폐용량을 증가시키고 호흡기능을 개선하여 일상생활 기능을 향상시킬 수 있다. 따라서 뇌졸중 환자에게 일반적인 신경계 재활 중심의 물리치료와 더불어 호흡훈련을 함께 실시하는 것이 필요하다고 생각된다.

Acknowledgment

본 논문은 2011학년도 부산가톨릭대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 수행된 것임.

References

- American Thoracic Society. Lung function testing :selection of reference values and interpretative strategies. *Am Rev Respir Dis.* 1991;144(5):1202-18.
- Britto RR, Rezende NR, Marinho KC et al. Inspiratory muscular training in chronic stroke survivors: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil.* 2011; 92(2):184-90.
- Cohen E, Mier A, Heywood P et al. Diaphragmatic movement in hemiplegic patients measured by ultrasonography. *Thorax.* 1994;49(9):890-5.
- Duncan PW, Homer RD, Reker DM et al. Adherence to post acute rehabilitation guidelines is associated with

- functional recovery in stroke. *Stroke*. 2002;33(1):169-77.
- De Almeida IC, Clementino AC, Rocha EH et al. Effects of hemiplegy on pulmonary function and diaphragmatic dome displacement. *Respir Physiol Neurobiol*. 2011;178(2):196-201.
- Enright SJ, Unnithan VB, Heward C et al. Effect of high-intensity inspiratory muscle training on lung volumes, diaphragm thickness, and exercise capacity in subjects who are healthy. *Phys Ther*. 2006;86(3):345-54.
- Enright SJ, Unnithan VB. Effect of inspiratory muscle training intensities on pulmonary function and work capacity in people who are healthy: a randomized controlled trial. *Phys Ther*. 2011;91(3):894-905.
- Kaneko H, Yamamura K, Mori S et al. Ultrasonographic Evaluation of the Function of Respiratory Muscles during Breathing Exercises. *Journal of Physical Therapy Science*. 2009;21(2):135
- Kaneko H, Otsuka M, Kawashima Y et al. The Effect of Upper Chest Wall Restriction on Diaphragmatic Function. *Journal of Physical Therapy Science*. 2010;22(4):375-80.
- Hsu AL, Tang PF, Jan MH. Analysis of impairments influencing gait velocity and asymmetry of hemiplegic patients after mild to moderate stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 2003;84(8):1185-93.
- Howarda RS, Ruddb AG, Wolfec CD et al. Pathophysiological and clinical aspects of breathing after stroke. *Postgrad Med J*. 2001;77(913):700-2.
- Jung JH, Kim NS. Effects of Inspiratory Muscle Training on Diaphragm Thickness, Pulmonary Function, and Chest Expansion in Chronic Stroke Patients. *Journal of The Korean Society of Physical Medicine*. 2013;8(1):59-69.
- Khedr EM, El Shinawy O, Khedr T et al. Assessment of corticodiaphragmatic pathway and pulmonary function in acute ischemic stroke patients. *Eur J Neurol*. 2000;7(5):509-16.
- Kim JH, Park HK, Jeon SY et al. Initial Effect of an Elastic Chest Band during Inspiratory Exercise on Chest Function Improvement in People with Limited Rib Mobility A Randomized Controlled Pilot Trial. *Physiother Res Int*. 2012;17(4):208-13
- Kisner C, Colby LA. *Therapeutic exercise: foundations and technique*. 5rd ed Philadelphia. FA Davis Company. 2010;993-1031.
- Korczyn AD, Hermann G, Don R. Diaphragmatic involvement in hemiplegia and hemiparesis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1969;32(6):588-90.
- Lanini B, Bianchi R, Romagnoli I et al. Chest wall kinematics in patients with hemiplegia. *Am J Respir Crit Care Med*. 2003;168(1):109-13.
- Lee JH, Kwon YJ, Kim K, The Effect of Chest Expansion and Pulmonary Function of Stroke Patients after Breathing Exercise. *J Kor Soc Phys Ther*. 2009;21(3):25-32.
- Lim SW, Seo KC. The effect of treadmill training with elastic band on the chest expansion and pulmonary function of young adults. *J Int Acad Phys Ther Res*. 2011;2(2):301-7.
- Seo KC. The Effect of Pulmonary Function and Respiratory Muscle Activity in the Stroke Patients after Complex Breathing Exercise. Graduate School of Rehabilitation Science. Daegu University Doctor's thesis. 2012.
- Sezer N, Ordu NK, Sutbeyaz ST et al. Cardiopulmonary and metabolic responses to maximum exercise and aerobic capacity in hemiplegic patients. *Funct Neurol*. 2004;19(4):233-8.
- Sutbeyaz ST, Koseoglu F, Inan L et al. Respiratory muscle training improves cardiopulmonary function and exercise tolerance in subjects with subacute stroke: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil*. 2010;24(3):240-50.
- Ueki J, De Bruin PF, Pride NB. In vivo assessment of diaphragm contraction by ultrasound in normal subjects. *Thorax*. 1995;50(11):1157-61.