

Original Article

Open Access

으쓱 운동과 PNF어깨뼈패턴 시 어깨뼈 안정근의 근활성도

김민정 · 정수민 · 박성권 · 박두진†
가야대학교 물리치료과

Intramuscular Activation of Scapular Stabilizing Muscles During Shrug Exercise and PNF Scapular Pattern Exercise

Min-Jeong Kim · Su-Min Jeong · Seong-Kwon Park · Du-Jin Park†
Department of Physical Therapy, College of Health Sciences, Kaya University

Received: July 27, 2016 / Revised: August 9, 2016 / Accepted: August 9, 2016

© 2016 Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association

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.

| Abstract |

Purpose: The purpose of this study was to compare the intramuscular activation of the scapular stabilizing muscles and the upper trapezius/middle serratus anterior (UT/MSA) ratios during shrug exercise and proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) scapular pattern exercise.

Methods: The participants of this study were 13 young adult men who voluntarily consented to participate in this experiment after listening to its purpose and methods. All participants were instructed on maximal voluntary isometric contraction and scapular exercises. The intramuscular activation of the upper trapezius (UT), lower trapezius (LT), middle serratus anterior (MSA), and lower serratus anterior (LSA) muscles while performing scapular exercises in a side-lying position were measured using surface electromyography. To analyze the muscle activation and UT/MSA ratio between the two exercises, a one-way repeated ANOVA was performed. Post-hoc analyses were conducted using Tukey's multiple comparison and analysis. Hamstring flexibility for each group was measured by a passive straight leg raising test.

Results: The shrug exercise showed significantly higher UT activation compared to PNF anterior elevation and posterior elevation scapular patterns. The PNF scapular anterior elevation pattern showed significantly higher serratus anterior activation than the shrug exercise. Additionally, the UT/MSA ratios were significantly lower in the PNF scapular anterior elevation pattern than in the two exercises.

Conclusion: Although shrug exercise was effective for strengthening UT, the PNF scapular anterior elevation pattern may be effective for strengthening MSA and improving the UT/MSA ratio.

Key Words: Shrug exercise, PNF scapular patterns, Scapular stabilizing muscles

†Corresponding Author : Du-Jin Park (djpark35@kaya.ac.kr)

I. 서론

어깨뼈의 기능이상은 가장 일반적인 근골격계 질환 중 하나이다(Andrews, 2005; Cools et al, 2007; De Vlugt et al, 2003). 특히 어깨뼈와 관련된 손상은 어깨뼈를 고정시키는 근육들에 생기며, 어깨관절의 기능상실과 통증을 유발하고 그 주변근육의 근력감소가 유발된다(Hong, 2011). 이들 근육이 약해지면 어깨뼈의 비정상적인 위치, 어깨뼈-어깨관절 운동의 방해, 기능이상 등을 유발시킨다(Ludewig et al, 2004).

어깨뼈는 힘과 에너지를 전달하는 중요한 구성요소로 기능적 움직임과 적절한 위치를 이루는데 매우 중요한 역할을 수행한다(Elliott et al, 1995). 일상생활 활동에 중요한 기능적 동작은 어깨뼈의 위쪽돌림이며 이러한 움직임에 가장 이상적인 짝힘은 위등세모근, 아래등세모근, 앞톱니근으로써 어깨뼈를 올리기 위한 안정근으로 작용한다(Ebaugh et al, 1993). 하지만 앞톱니근의 활동 감소, 위등세모근의 활동 증가, 위와 중간, 아래등세모근의 불균형이 어깨관절의 비정상적인 움직임을 만들게 되므로 짝힘이 중요하게 작용해야한다(Cools et al, 2005; Cools et al, 2007; Paine & Voight, 1993).

비정상적인 앞톱니근의 기능은 비정상적인 어깨뼈의 움직임과 관련이 있고(Lukasiewicz et al, 1999), 공을 던지는 운동선수(Glousman et al, 1988), 수영선수들의 어깨통증(Scovazzo et al, 1991) 그리고 어깨충돌증후군(Ludewig & Cook, 2000; Lukasiewicz et al, 1999) 등 어깨 불안정성과 같은 어깨관절 문제를 야기시킨다. 어깨질환을 가진 개개인들은 앞톱니근의 활동의 감소로 인해 보상을 통하여 위등세모근의 활동을 증가시킨다(Ludewig & Cook, 2000). 그러므로 위등세모근/앞톱니근의 불균형이 존재하는 환자들에게 어깨가슴근육들의 전반적인 활동을 유발하는 운동보다는 두 근육사이 힘의 불균형을 감소시키기 위해 위등세모근의 활성을 최소로 유지하여 선택적으로 앞톱니근을 강화시킬 수 있는 훈련은 중요하다(Moon & Kim, 2010). 이러한 이유로 다양한 어깨운동프로그램의 효

과를 확인한 일부 연구자들은 위등세모근/앞톱니근 비율을 이용하였다(Ludewig et al, 2004; Maenhout et al, 2010; Park & Yoo, 2011).

기능적인 위쪽돌림 범위에서 위등세모근, 아래등세모근, 앞톱니근을 활성화시킬 수 있는 운동은 으쓱 운동과 고유수용성신경근축진법(Proprioceptive Neuromuscular Facilitation, PNF)의 어깨뼈패턴이 있다(Lee & Park, 2012). 으쓱 운동은 위등세모근을 강화하기 위해 어깨 재활프로그램에서 많이 사용된다(Burkhead & Rockwood, 1992; Ekstrom et al, 2003; Hintermeister et al, 1998; Pizzari et al, 2014). 또한 PNF어깨뼈패턴도 어깨뼈 안정성에 관여하는 대표적인 근육들의 이완(Lee et al, 2004)과 어깨관절의 가동범위 증가를 목적으로 시행하고 있는 치료기술로 어깨재활프로그램에서 자주 사용된다(Bae et al, 1999). 두 운동을 비교하여 어깨불균형을 가진 사람들의 위등세모근/중간앞톱니근 비율에 대한 효과를 규명한 연구가 부족하다. 이에 본 연구는 으쓱 운동과 PNF어깨뼈패턴 수행 시 위등세모근/중간앞톱니근 비율과 어깨뼈 안정근의 근섬유별 활성도를 분석하기 위하여 실시하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 연구의 목적과 방법에 대한 설명을 이해하고 실험 참여에 동의한 건강한 성인 남성 13명을 대상으로 실시하였다. 어깨관절 손상 또는 수술의 과거력이 있고 어깨관절의 통증이 있는 자, 근골격계 질환이 있는 자는 본 연구에서 제외하였다. 모든 참가자는 연구의 일관성을 위해 오른손잡이로 선정하였다.

2. 전극부착 및 측정 도구

8채널로 구성된 표면근전도를 사용하였으며(BTS FREEMG 300, BTS Bioengineering, Italy) 표면 전극은 위등세모근, 아래등세모근, 중간앞톱니근 그리고 아래앞톱니근에 부착하였다(Fig. 1). 위등세모근은 제 7

번 가시돌기와 어깨뼈 봉우리돌기 사이 거리의 중간 지점, 아래등세모근은 제 6번 등뼈 가시돌기의 외측 사선방향으로 1.5cm 떨어진 지점, 중간앞톱니근은 제 5번 갈비뼈에 위치한 힘살 부분 그리고 아래앞톱니근은 제 7번 갈비뼈에 위치한 힘살에 전극을 부착하였다 (Lee & Park, 2012). 전극을 부착하기 전 피부 저항을 감소시키기 위하여, 알코올로 피부를 세척한 후 실시하였다.

3. 측정 방법

1) 최대 수의적 등척성 수축(maximal voluntary isometric contraction, MVIC)

각 근육의 활동을 표준화하기 위해 최대 수의적 등척성 수축을 다음과 같이 실시하였다. 위등세모근은 앉은 자세에서 목은 가쪽으로 굽히고 팔은 내림저항에 대하여 90도로 벌린다. 아래등세모근은 엎드린 자세에서 팔을 150도 정도 벌리고 내림저항에 대하여 팔을 위로 올린다(Choi et al, 2015). 그리고 중간앞톱니근은 팔굽혀펴기 자세에서 어깨를 내밌히고 아래앞톱니근은 앉은 자세에서 스쿼션면에서 120도 벌리

고 내림저항에 대하여 팔을 위로 올린다(Ekstrom et al, 2005). 대상자는 동작을 수행하는 동안 정확한 자세를 유지하기 위하여 예비연습을 3회 실시한 후 본 실험을 진행하였다. 최대 수의적 등척성 수축 측정은 '시작'이라는 구호와 함께 각각의 동작을 5초 유지하여 3회 반복 측정하였고, 각 동작의 수행사이에는 1분간의 휴식을 취했다. 운동을 수행하는 동안 5초간 수집되었으며 처음과 마지막 1초를 제외한 중간 3초간을 자료 분석에 사용하였다.

2) 으쓷 운동과 PNF어깨뼈패턴

모든 대상자들은 옆으로 누운 자세에서 으쓷 운동과 PNF어깨뼈패턴을 수행하였다(Fig. 2). 모든 대상자들은 옆으로 누운 자세에서 어깨뼈가 수직으로 움직일 수 있도록 으쓷 훈련을 받았다. 동일한 자세에서 PNF어깨뼈패턴인 앞쪽올림패턴(anterior elevation)과 뒤쪽올림패턴(posterior elevation) 두 가지로 구분하여 교육받았다. 모든 훈련은 1시간에 걸쳐 사전 훈련을 하였으며, 동일한 치료사(IPNF-therapist)에 의해 통제되었다. 어깨뼈 안정화 근육의 활동은 각 중재를 5초간 실시하는 동안 측정되었다. 측정된 근활성도는 처음

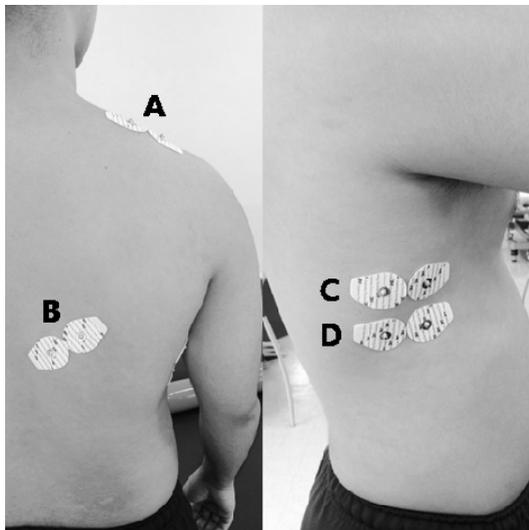


Fig. 1. Electrode positions : A) Upper trapezius, B) Lower trapezius, C) Middle serratus anterior, D) Lower serratus anterior.

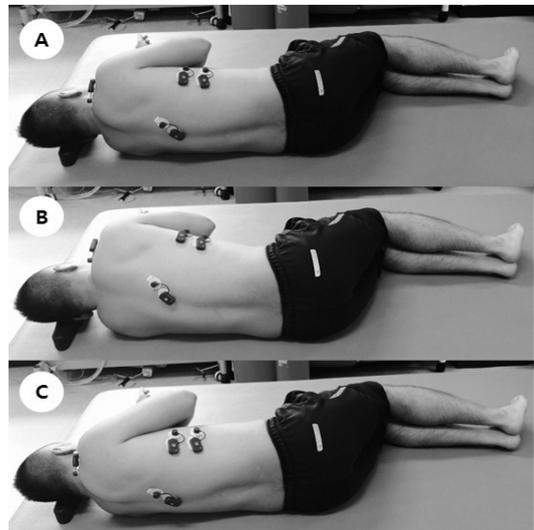


Fig. 2. Scapular exercises : A) Shrug exercise, B) Anterior elevation, C) Posterior elevation.

과 마지막 1초를 제외한 중간 3초간을 자료 분석에 사용하였다. 각 운동 중재는 무작위로 3번씩 실시하였으며, 그 평균값을 자료 분석에 이용하였다.

4. 자료 분석

운동에 따른 각 근육들의 근활성도를 비교하기 위해 일요인 반복측정 분산분석(One-way repeated ANOVA)을 사용하였다. 통계학적 유의성을 검정하기 위하여 유의수준 α 는 0.05로 설정하였으며, 수집된 자료는 윈도우용 SPSS version 18.0을 이용하여 분석하였다. 사후검정을 위해서 Tukey의 다중비교분석을 사용하여 각 운동 간에 유의한 차이가 있는지 분석하였다.

III. 연구 결과

1. 대상자의 일반적 특성

모든 연구 대상자는 남성으로 구성되었으며 평균 나이, 신장, 체중, BMI 지수는 각각 20.54±0.66세, 172.62±4.43cm, 65±10.02kg, 21.83±3.42kg/m²였다.

2. 으쓱 운동과 PNF어깨뼈패턴의 근활성도 비교

으쓱 운동과 PNF어깨뼈패턴을 하는 동안 위등세모근, 아래등세모근, 중간앞톱니근 그리고 아래앞톱니근의 근활성도는 Table 1과 같았다. 위등세모근과 중간앞톱니근의 근활성도는 유의한 차이를 보였으나, 아래등세모근과 아래앞톱니근의 근활성도는 각 운동 간에 유의한 차이가 없었다. 사후분석결과 위등세모근의 근활성도는 세 가지 운동 사이의 유의한 차이를 보였으며, 중간앞톱니근의 근활성도는 앞쪽올림패턴

과 다른 두 운동 사이의 유의한 차이를 보였다(Fig. 3).

3. 으쓱 운동과 PNF어깨뼈패턴의 위등세모근/중간앞톱니근 비율 비교

위등세모근/중간앞톱니근 비율의 결과 세 운동 간에 유의한 차이가 나타났다(Table 2). 앞쪽올림패턴이 다른 두 운동에 비해 유의하게 낮게 나타났다(Fig. 4).

Table 2. The upper trapezius/middle serratus anterior ratios during shrug exercise and PNF scapular patterns (N=13)

	Shrug	Anterior elevation	Posterior elevation
UT/MSA*	15.86±8.02	1.52±1.82	7.2±5.06

*Significant difference between conditions

IV. 고찰

현재 어깨관절 손상의 재활에 있어서 어깨관절의 역할에 대한 관심이 증가하고 있으나 어깨 재활프로그램에서 자주 사용되는 으쓱 운동과 PNF어깨뼈패턴을 비교하여 어깨불균형을 가진 사람들의 위등세모근/중간앞톱니근 비율에 대한 효과를 규명한 연구는 찾아보기 힘든 실정이다. 이에 본 연구는 옆으로 누운 자세에서 으쓱 운동과 PNF어깨뼈패턴 수행 시 어깨뼈 안정근의 근섬유별 활성도와 위등세모근/중간앞톱니근 비율을 분석하기 위하여 실시하였다.

본 연구에서 위등세모근의 근활성도는 으쓱 운동이 다른 두 운동에 비해 유의하게 높게 나타났다. 이는 으쓱 운동이 위등세모근의 근활성도를 증가시키는데

Table 1. The intramuscular activations of scapular stabilizing muscles among three scapular exercises (N=13)

	Shrug	Anterior elevation	Posterior elevation
Upper trapezius (UT)*	28.45±15.02	6.03±13.33	13.96±12.96
Lower trapezius (LT)	6.46±5.67	5.37±3.18	6.91±3.74
Middle serratus anterior (MSA)*	4.1±2.03	8.73±2.73	4.02±1.94
Lower serratus anterior (LSA)	5.7±3.71	6.96±4.45	6.75±4.35

Unit: %MVIC; *Significant difference between conditions

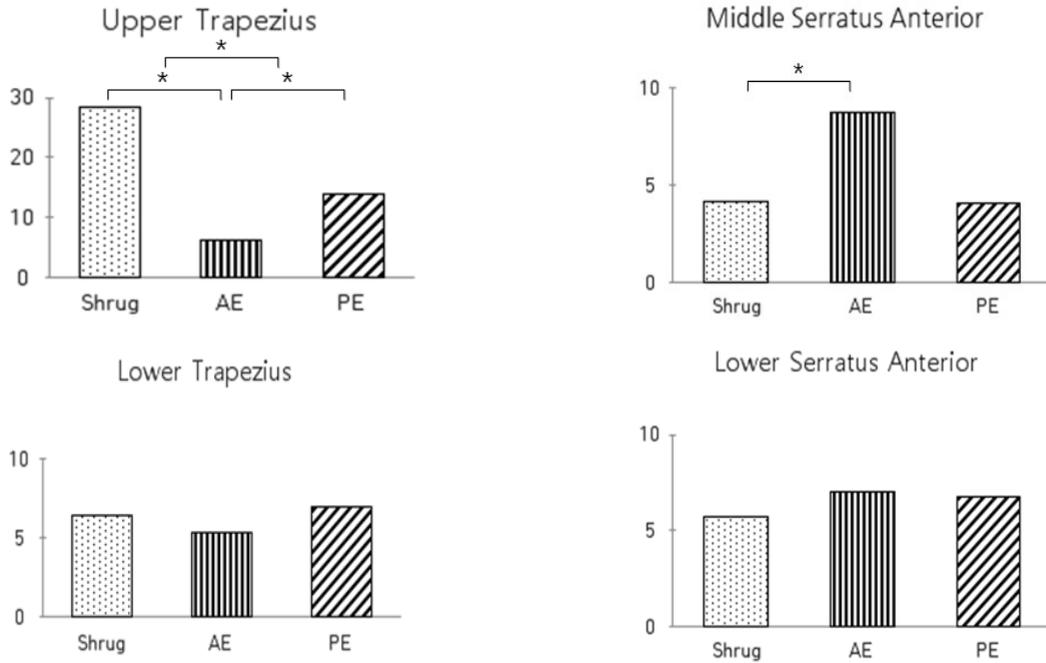


Fig. 3. The intramuscular activations of scapular stabilizing muscles among three scapular exercises.

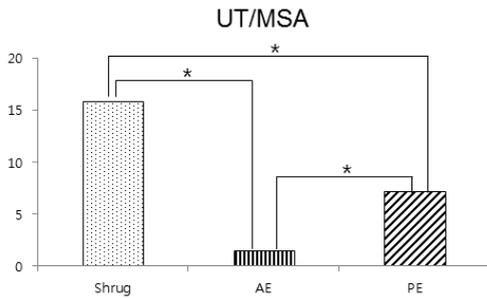


Fig. 4. The upper trapezius/middle serratus anterior ratios during shrug exercise and PNF scapular patterns.

효과적인 운동이라는 선행 연구의 결과(Zanca et al, 2014)를 지지하는 것이다. 선행 연구(Zanca et al, 2014)에서는 으쓷 운동이 위등세모근의 최대근력에 약 73%까지 근육의 활동을 이끌어 낼 수 있었지만, 본 연구에서는 약 28%까지만 이끌어 낼 수 있었다. 이러한 결과는 운동 시 적용된 부하와 자세에 의한 것으로 생각된다. 선행 연구에서는 중력이 노출된 앉은 자세에서

운동 시 부하를 주었으나, 본 연구에서는 중력이 배제된 옆으로 누운 자세에서 중력 없이 실시하여 상대적으로 낮은 근활성을 보였다. 이러한 결과를 기초하여 볼 때, 어깨질환을 가지고 있는 환자들이 운동을 할 때 중력을 배제한 옆으로 누운 자세에서 점차적으로 중력을 가한 앉은 자세로 운동을 적용시키는 것이 효과적일 것이라고 생각된다.

본 연구에서 중간앞톱니근의 근활성도는 다른 두 운동과 비교하여 앞쪽올림패턴에서 유의하게 높게 나타났다. 푸시업플러스 운동은 일반적인 팔굽혀펴기 동작에서 팔꿈관절의 최대 폼에 이어 어깨뼈의 내뺌을 추가한 운동(Park et al, 2007)으로 선택적인 앞톱니근을 활성화시킬 수 있다. 선행연구의 결과(Park & Lee, 2012)에 의하면, 중간앞톱니근의 근활성도는 푸시업플러스 운동 시 최대근력의 약 68% 정도를 보였으나, 본 연구에서 앞쪽올림패턴 시 중간앞톱니근의 근활성도는 최대근력의 약 9% 정도로 선행연구보다 현저히 낮은 결과를 보였다. 이는 선행연구의 푸시업플

러스 운동은 닫힌사슬운동으로 최대의 어깨 내뱀을 통해 높은 저항을 주었으나 본 연구에서는 열린사슬 운동으로 저항 없이 적절하게 어깨를 내뱀시켰기 때문에 선행연구보다 낮게 나왔다고 생각된다. 이런 결과를 통해 어깨 손상 시 초기 재활에 앞쪽올림패턴을 실시하는 것이 바람직하다고 생각한다.

위등세모근/중간앞톱니근 비율의 결과 각 운동 간에 유의한 차이가 있었다. 본 연구에서 PNF어깨뼈패턴의 위등세모근/중간앞톱니근 비율은 앞쪽올림패턴에서 1.52 ± 1.82 , 뒤쪽올림패턴에서 7.2 ± 5.0 로 나왔다. 선행연구에 의하면(Park & Lee, 2012), PNF 상지패턴 시 0.30 ± 0.13 으로 본 연구가 선행연구보다 높은 결과를 보였다. 이는 선행연구의 PNF 상지패턴은 최대의 어깨 내뱀으로 충분한 저항을 주었지만 본 연구의 PNF어깨뼈패턴에서는 저항 없이 대각선 방향의 어깨 내뱀으로 상대적으로 앞톱니근의 활동이 감소하였기 때문이라 생각된다. 위등세모근/중간앞톱니근 비율이 1보다 현저히 높을 경우 위등세모근의 높은 활성화를 나타낸다(Martins et al, 2008). 위등세모근의 과도한 근활성도는 비정상적인 어깨뼈의 회전이 발생하여 어깨충돌증후군(shoulder impingement syndrome)이 발생할 수 있다(Cools et al, 2003; Ludewig & Cook, 2000).

본 연구결과 으쓱 운동과 뒤쪽올림패턴과 같이 높은 위등세모근/중간앞톱니근 비율 값을 나타내는 운동은 짝힘의 불균형을 가진 환자의 재활에 비효율적이라고 생각된다. 앞쪽올림패턴과 같이 낮은 위등세모근/중간앞톱니근 비율을 보이는 운동이 선택적인 중간앞톱니근의 강화와 근불균형의 감소 및 어깨 안정화를 위한 재활운동의 중요한 요소이다.

본 연구에서는 실험대상자를 남자만으로 구성하였고, 운동학적인 정보부족으로 으쓱 운동과 PNF어깨뼈패턴을 정확하게 조절하지 못해 적절한 저항을 주기가 힘들어 어깨뼈의 움직임을 만드는데 어려움이 있었다. PNF어깨뼈패턴을 정확하게 시행하지 않았을 경우 으쓱 운동을 할 때의 위등세모근의 활동처럼 과도하게 초래되는 것을 막아야한다. PNF어깨뼈패턴을 할 때 뒤쪽올림패턴보다는 앞쪽올림패턴이 앞톱니근의

활동을 강화시키고 위등세모근의 활동을 줄여주는 운동은 될 수 있으나 근육의 수축정도가 낮아 향후에는 이러한 부분을 보완해 적절한 저항을 주어 PNF어깨뼈패턴을 분석하는 연구가 필요할 것이다. 또한 운동 시 중력의 여부에 따라 근육의 기능이 달라지며 본 연구에서는 중력을 제거한 옆으로 누운 자세에서 PNF어깨뼈패턴을 실시하였으나 기능적인 성과가 있으려면 중력을 받는 앉은 자세나 선 자세에서 운동을 시행하는 것이 필요할 것이다. 그렇지만 앉은 자세나 선 자세에서 PNF어깨뼈패턴을 정확하게 하는 것이 힘들기 때문에 적절하게 조절하면서 분석할 수 있는 연구가 이루어졌으면 한다.

V. 결론

으쓱 운동은 PNF어깨뼈패턴에 비해 위등세모근을 활성화시키는데 효과적인 운동이며, 앞쪽올림패턴은 으쓱 운동과 뒤쪽올림패턴보다 앞톱니근과 위등세모근/중간앞톱니근 비율을 개선시키는데 효과적이었다. 임상에서 앞톱니근의 약화로 인한 어깨손상 환자의 치료 시 목적에 따라 어깨관절의 재활프로그램을 선택해야 할 것이며, 특히 등세모근의 낮은 근활성도와 앞톱니근의 높은 근활성도를 이끌어내기 위해서 PNF어깨뼈패턴을 적용하는 것이 더욱 효과적일 것이라고 생각된다.

References

- Andrews JR. Diagnosis and treatment of chronic painful shoulder: review of nonsurgical interventions. *Arthroscopy*. 2005;21(3):333-347.
- Bae SS, Choi JW, Jeong HA, et al. Biomechanical analysis of scapular pattern in proprioceptive neuromuscular facilitation. *The Journal of Korean Society of Physical Therapy*. 1999;11(3):65-69.

- Burkhead Jr WZ, Rockwood Jr CA. Treatment of instability of the shoulder with an exercise program. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 1992;74(6):890-896.
- Choi WJ, Cynn HS, Lee CH, et al. Shrug exercises combined with shoulder abduction improve scapular upward rotator activity and scapular alignment in subjects with scapular downward rotation impairment. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2015;25(2):363-370.
- Cools AM, Declercq GA, Cambier DC, et al. Trapezius activity and intramuscular balance during isokinetic exercise in overhead athletes with impingement symptoms. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2007;17(1):25-33.
- Cools AM, Dewitte V, Lanszweert F, et al. Rehabilitation of scapular muscle balance: which exercises to prescribed?. *The American Journal of Sports Medicine*. 2007;35(10):1744-1751.
- Cools AM, Witvrouw EE, Declercq GA, et al. Scapular muscle recruitment pattern: Trapezius muscle latency with and without impingement symptoms. *The American Journal of Sports Medicine*. 2003;31(4):542-549.
- Cools AM, Witvrouw EE, Mahieu NN, et al. Isokinetic scapular muscle performance in overhead athletes with and without impingement symptoms. *Journal of athletic training*. 2005;40(2):104-110.
- De Vlugt E, Schouten AC, van der Helm FCT, et al. A force-controlled planar haptic device for movement control analysis of the human arm. *Journal of Neuroscience Methods*. 2003;129(2):151-168.
- Ebaugh DD, McClure PW, Karduna AR. Three-dimensional scapulothoracic motion during active and passive arm elevation. *Clinical Biomechanics*. 2005;20(7):700-709.
- Ekstrom RA, Donatelli RA, Soderberg GL. Surface electromyographic analysis of exercises for the trapezius and serratus anterior muscles. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2003;33(5):247-258.
- Ekstrom RA, Soderberg GL, Donatelli RA, et al. Normalization procedures using maximum voluntary isometric contractions for the serratus anterior and trapezius muscles during surface EMG analysis. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2005;15(4):418-428.
- Elliott BC, Marshall RN, Noffal GJ. Contributions of upper limb segment rotations during the power serve in tennis. *Journal of Applied Biomechanics*. 1995;11(4):433-442.
- Glousman R, Jobe F, Tibone J, et al. Dynamic electromyographic analysis of the throwing shoulder with glenohumeral instability. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 1988;70(2):220-226.
- Hintermeister RA, Lange GW, Schultheis JM, et al. Electromyographic activity and applied load during shoulder rehabilitation exercises using elastic resistance. *The American Journal of Sports Medicine*. 1998;26(2):210-220.
- Hong EN. Effects of stability exercise on scapular positioning and muscle activity in baseball players with scapular dyskinesis. Dankook University. Dissertation of Master's Degree. 2011.
- Lee HO, Park DJ. Scapular stabilizing muscle activity during PNF backward rocking exercise in four point kneeling. *Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association*. 2012;10(3):1-6.
- Lee MH, Nam HC, Park RJ. The effects of scapular pattern of PNF on the pain level in whiplash injury. *The Journal of Korean Society of Physical Therapy*. 2004;16(2):140-155.
- Ludewig PM, Cook TM. Alterations in shoulder kinematics and associated muscle activity in people with symptoms of shoulder impingement. *Physical Therapy*. 2000;80(3):276-291.

- Ludewig PM, Hoff MS, Osowski EE, et al. Relative balance of serratus anterior and upper trapezius muscle activity during push-up exercises. *The American Journal of Sports Medicine*. 2004;32(2):484-493.
- Lukasiewicz AC, McClure P, Michener L, et al. Comparison of 3-dimensional scapular position and orientation between subjects with and without shoulder impingement. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 1999;29(10):574-583.
- Maenhout A, Van Praet K, Pizzi L, et al. Electromyographic analysis of knee push-up plus variations: what is the influence of the kinetic chain on scapular muscle activity? *British Journal of Sports Medicine*. 2010;44(14):1010-1015.
- Martins J, Tucci HT, Andrade R. Electromyographic amplitude ratio of serratus anterior and upper trapezius muscles during modified push-ups and bench press exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2008;22(2):476-484.
- Moon SJ, Kim TH. A comparison of the serratus anterior muscle activity according to the shoulder flexion angles in a closed kinetic chain exercise and an open kinetic chain exercise. Hanseo University. Dissertation of Master's Degree. 2010.
- Paine RM, Voight M. The role of the scapula. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 1993;18(1):386-391.
- Park DJ, Lee HO. The intramuscular activation of scapular stabilizing muscles during push-up plus and PNF exercises in a quadruped position. *Journal of Physical Therapy Science*. 2012;25(4):371-374.
- Park JS, Jeon HS, Kwon OY. A comparison of the shoulder stabilizer muscle activities during push-up plus between persons with and without winging scapular. *Physical Therapy Korea*. 2007;14(2):44-52.
- Park SY, Yoo WG. Differential activation of parts of the serratus anterior muscle during push-up variations on stable and unstable bases of support. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2011;21(5):861-867.
- Pizzari T, Wickham J, Balster S, et al. Modifying a shrug exercise can facilitate the upward rotator muscles of the scapula. *Clinical Biomechanics*. 2014;29(2):201-205.
- Scovazzo ML, Browne A, Pink M, et al. The painful shoulder during freestyle swimming. An electromyographic cinematographic analysis of twelve muscles. *The American Journal of Sports Medicine*. 1991;19(6):577-582.
- Zanca GG, Oliveira AB, Ansanello W, et al. EMG of upper trapezius electrode sites and association with clavicular kinematics. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2014;24(6):868-874.