

아래팔의 자세 변화에 따른 어깨 가쪽돌림 시 가시위근과 가시아래근의 근활성도 분석

엄주리 · 이동률¹ · 이민형^{2†}

부산가톨릭대학교 대학원 물리치료학과, ¹거인병원 물리치료실, ^{2†}부산대학교병원 재활의학팀

Analysis of the Activity of the Supraspinatus and Infraspinatus Muscles during Lateral Rotation of the Shoulder according to the Posture Change of the Forearm

Ju-Ri Eom, P.T., M.S. · Dong-Rour LEE, P.T., Ph.D.¹ · Min-Hyung Rhee, P.T., Ph.D.^{2†}

Department of Physical Therapy, Graduated school Catholic University of Pusan

¹Department of Rehabilitation Medicine, Geo-in Hospital

²Department of Rehabilitation Medicine, Pusan National University Hospital

Received: April 12, 2023 / Revised: April 16, 2023 / Accepted: April 17, 2023

© 2023 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 aim of this study is to provide basic information to create an efficient training program to improve shoulder stability and function in patients with injuries and in patients having undergone surgery of the supraspinatus and infraspinatus muscles, which have a relatively high incidence of injury in shoulder joint disease. Further, independent activities of the supraspinatus and infraspinatus muscles were investigated according to forearm rotation and the neutral and lateral rotation postures.

Methods: The activities of the supraspinatus and infraspinatus muscles were measured using surface electromyography in 22 healthy adults in Busan, and isokinetic muscle strength measurement equipment was used to measure muscle strength during shoulder lateral rotation. The subjects performed lateral rotation of the shoulder in three different forearm postures (neutral, supine, prone) to measure shoulder muscle activity and lateral rotation strength.

Results: The independent activity ratio (% Isolation) of the supraspinatus and infraspinatus muscles during lateral rotation of the shoulder joint demonstrated a significant difference ($p < 0.05$) according to the change in forearm posture.

Conclusion: The supraspinatus muscle showed independent activity ranging from highest to lowest in the order of pronation, neutral, and supination of the forearm, while the independent activity of the infraspinatus muscle ranged from highest to lowest in the order of neutral, supination, and pronation of the forearm. Therefore, the most active forearm positions for the supraspinatus and infraspinatus muscles are pronation and neutral, respectively.

†Corresponding Author : Min-Hyung Rhee (minhyung@gmail.com)

Key Words: Supraspinatus, Infraspinatus, Lateral rotation, Muscle activation

I. 서론

돌림근띠 파열은 어깨 관절의 통증과 장애를 일으키는 가장 흔한 원인 중 하나이며, 임상 양상 또한 매우 다양한 것으로 알려져 있다(Kelly et al., 2005). 돌림근띠란 가시위근·가시아래근·작은원근·어깨끼근 등 4개 근육의 힘줄로 이루어진 구조물로 어깨 관절의 안정성을 부여하는 역할을 하는데(Brotzman & Wilk, 2005), 어깨관절 내부에서 문제가 생겨 통증이 발생하였을 경우, 돌림근띠 손상과 관련이 높은 것으로 알려져 있다(Diamond, 1995). 돌림근띠 손상은 힘줄의 노화로 인한 퇴행성 변화(An & Kim, 2013)와 가시위근의 파열로 발생하며(Neer, 1983), 반복적으로 돌림근띠에 기계적 충격을 가하게 되는 경우 어깨관절 주변의 조직 및 위 어깨신경손상, 가시아래근 근위축을 가져와(Wang et al., 2004) 어깨관절 주위의 심한 통증과 주변 근육의 약화, 운동 범위의 제한이 따르게 된다(Abrams, 2008)

선행연구를 살펴보면 191명의 돌림근띠 파열 환자 중 190명의 환자에서 가시위근의 파열이 있었으며(Yoon et al., 2007), 돌림근띠 파열 환자 중 통증이나 기능적 장애가 나타나지 않는 성인에서 40%정도가 가시위근의 파열이 관찰되었다(Worland et al., 2003). 가시아래근의 경우 어깨 관절의 동적 안정성 및 가쪽돌림 시 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있으나(Blackburn, 1990; Reinold, 2004; Ballantyne, 1993), 어깨관절 전방불안정일 경우 가시아래근과 같은 가쪽돌림 근력의 비율이 현저히 낮아지고 전방 탈구를 일으킨다(Lee et al., 2012). 또한 어깨관절 기능장애로 인하여 수술을 한 환자의 경우 어깨관절의 정상적인 기능 회복에 어려움을 겪게 되는데, 일반적으로 수술 후 3개월이 지나면 굽힘, 벌림, 안쪽돌림은 정상가동범위의 90%정도가 회복되지만, 가쪽돌림과 펴는 경우 정상가동범위의 80%정도까지의 회복에도 어려움을 겪는다

(Eom & Lee, 2004). 따라서 어깨관절 손상의 효율적인 재활을 위해서는 어깨관절 가쪽돌림 운동이 어깨 안정성에 도움을 줄 것으로 여겨지며(Kolber et al., 2008), 가쪽돌림 운동 시 특히나 가시위근과 가시아래근의 기능이 중요한 역할을 할 것으로 생각된다.

어깨관절의 질환이 증가함에 따라 그에 따른 보존적 치료가 어깨관절 주위 모든 구조물들의 협응과 관련된 안정화 운동에 대하여 중요성을 제시하고(Oh et al., 2003) 있으며, 관절 압박력으로 전단력을 감소시켜 관절에 안정성을 주고 고유수용성 감각을 촉진시키기 위해 최근 물리치료에서 위팔 치료에 관해서는 닫힌 사슬 운동을 적용하는 경향이 많다(Blackard et al., 1999; Ludewig et al., 2004). 그러나 관절 가동범위가 제한된 환자의 근력 강화를 위해서는 열린 사슬 운동을 필요로 하며 관절의 움직임이 독립적인 열린사슬 운동은 기능적인 활동의 촉진에도 중요한 운동이다(Jang, 2003). 이러한 운동의 효과를 규명하기 위해서 대부분 근전도를 이용하여 주어진 동작에 대해 가장 많은 힘을 발휘하게 되는 주동근의 운동 전·후의 최대자발적 수축능력(%MVC)을 측정하여 비교하는 연구가 대부분이다(Hyong, 2015; Irish et al., 2010). 그러나 일상에서 기능적인 힘이 발휘 될 때 특정 자세 보다는 여러가지 자세를 취하게 되며, 특히 위팔 뼈와 직접적으로 연결되어 있는 아래팔의 자세 변화에 따라 위팔의 힘이 달라져(Woo & Lee, 2013), 최근 연구에서는 어깨 가쪽돌림 운동 시 어깨관절 위치 및 아래팔의 자세에 따른 근활성도 변화에 대해 보고하기도 하였다(Lee et al., 2021; Hedt et al., 2020). 기존 연구들은 주로 등척성 운동에 초점이 맞추어져 있으며(Reinold, 2004), 아래팔 자세 변화에 따라 어깨 안정성에 직접적으로 관여하는 가시위근과 가시아래근의 활성도에 대한 연구는 없는 실정이다.

운동 중 자세변화 시 발생하는 근육 동원에 대한 정확한 피드백은 불필요한 보상작용을 최소화 시키는

데 도움이 될 수 있다(Sahrmann et al., 2017). 따라서 본 연구를 통하여 어깨관절 질환에서 상대적으로 손상 발생 빈도율이 높은 가시위근, 가시아래근의 손상 및 수술 환자를 위한 어깨 안정성 및 기능 향상에 효율적인 훈련 프로그램을 만드는데 기초정보를 제공하고 자 아래팔의 안쪽돌림, 중립, 가쪽돌림 자세에 따른 가시위근, 가시아래근의 독립활성도를 알아보려고 한다.

II. 연구 방법

1. 연구대상

본 연구의 연구대상자는 건강한 성인 30대, 40대(남성19명, 여성3명)를 대상으로 하였다. 연구대상자는 연구에 대한 충분한 설명을 듣고, 이에 자발적으로 동의를 구한 대상자에 한하여 본 연구를 시행하였다. 대상자의 일반적인 특성은(Table 1)과 같다.

Table 1. General characteristics of the subjects

| Variables | Overall (N=22) |
|------------------|----------------|
| Age(years) | 35.26 ± 2.88 |
| Sex, men/women | 19 / 3 |
| Height (cm) | 162.65 ± 30.62 |
| Body weight (kg) | 71.05 ± 10.89 |

2. 연구 절차

본 연구는 유사 실험 연구로서 실험실 기반으로 반복 측정 실험을 진행하였다. 선행 연구를 통하여 가시위근과 가시아래근의 활성도를 측정하기 위하여 표면 근전도를 사용하여 측정하였으며, 어깨 가쪽돌림 시 근력을 측정하기 위하여 등속성 운동 측정 장비를 사용하여 측정하였다. 연구대상자는 어깨 근육의 활성도와 가쪽돌림 근력을 측정하기 위하여, 아래팔의 위치에 따라 3가지 다른 조건에서 어깨의 가쪽돌림을 수행하였다.

3. 측정방법

1) 표면 근전도(surface electromyography)

본 연구의 근활성도 측정은 신뢰도와 타당도가 확인된 표면 근전도 장비(MOT10, PhysiLab, Korea)를 이용하여 측정하였다. 전도성 젤이 도포된 은-염화은(Ag-AgCl) 표면 전극을 통하여 획득된 신호를 표면 근전도 장비를 통하여 후처리하였다. 근전도 신호의 대역 통과 필터는 10~500Hz로, 노치 필터는 60Hz로 설정하였으며, 표본추출률은 2,048Hz로 설정하였다. 후 처리 후 수집된 신호는 근전도 분석 소프트웨어(MoTive-RS, PhysiLab, Korea)를 통하여, 실효치 진폭값(Root Mean Square Value)으로 변환하여 저장하였다. 어깨 가쪽돌림시 저항을 일정하게 주기 위하여 등속성 장력 훈련 장비(Miniplus, RONFIC, Korea)를 이용하였다. 어깨 가쪽돌림 시 등속성 운동모드로 하여 시행하였으며, 저항을 1.25kg 속도를 40cm/s 로 하여 근활성도를 측정하였다. 연구 대상자는 바로 앉은 자세에서 팔꿈관절 90도 자세로 팔꿈치는 몸에 붙이고, 아래팔의 뒤침(supination), 중립(neutral), 앞침(pronation) 위치에 따른 근활성도 변화를 측정하였다. 가시위근의 전극 부착 부위는 어깨뼈가시 바로 위 어깨뼈패임(suprascapular notch) 위에 전극을 2cm 간격으로 부착하였다 가시아래근의 전극 부착 부위는 어깨뼈밑오목(subscapular fossa)에 해당되는 위치로 어깨뼈가시의 약 4cm 아래 위에 어깨뼈 외측면과 평행하게 부착한다(Fig. 1). 이



Fig. 1. The position of surface EMG.

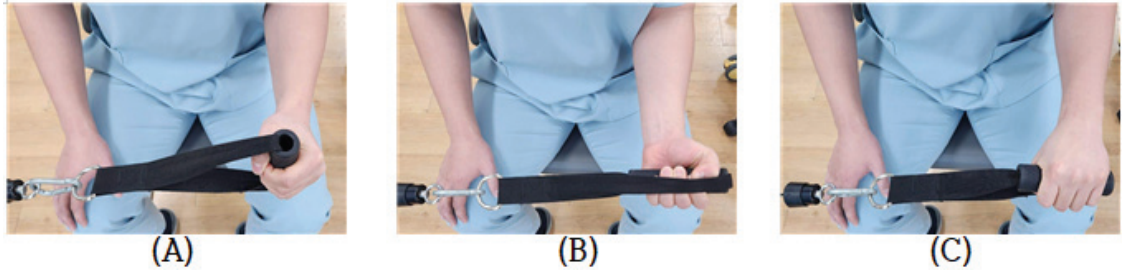


Fig. 2. Lateral rotation of the shoulder according to the posture change of the forearm. (A) neutral, (B) supination, (C) pronation.

때 어깨세모근 후부섬유를 피하여 부착하였다. 바로 앉은 자세에서 등속성 장력 측정 장비의 사이드암의 위치를 손의 높이에 맞추어 측정하였으며, 동일 자세를 3회 반복 시행하여 평균값으로 측정하였다. 반복 측정에 따른 근피로를 고려하여 측정 간 충분한 휴식을 제공하였다(Fig. 2).

2) 독립활성비율(% Isolation)

아래팔 자세에 따른 어깨관절 가쪽돌림시 가시위근과 가시아래근의 상대적인 활성도를 분석하기 위하여 독립활성비율(Arlotta et al., 2011; Park & Yoo, 2015)을 사용하였다. y를 측정 자세, i를 측정 횟수, 분석하고자 하는 근육을 X라고 하였을 때 독립활성비율을 계산하는 방식은 아래와 같다(Fig. 3).

$$\% \text{ Isolation} = \frac{EMGX_{yi}}{EMGSS_{yi} + EMGIS_{yi}} * 100$$

Fig. 3. The formula of %isolation. SS: supraspinatus, IS: infraspinatus.

4. 자료분석 방법

본 연구의 결과는 SPSS version 27.0 프로그램을 사용하여 분석하였다. 정규성 검정을 위해 Kolmogrov-Smirnov 검정을 시행하고 연구대상자의 일반적인 특성은 기술 통계를 사용하였다. 아래팔 자세에 따라 측정된 각 구간 데이터의 유의성 검증은 반복측정 분산분석(Repeated Measures ANOVA)을 이용하여 분석을 실시하였다. 유의 수준은 .05로 설정하였다.

III. 연구 결과

아래팔의 자세 변화에 따른 어깨관절 가쪽돌림시 가시위근과 가시아래근의 독립활성비율은 유의한 차이를 보였다(p<0.05), 가시위근은 아래팔의 중립, 옆침과 뒤침에서 유의한 차이를 보여줬고, 가시아래근은 아래팔의 옆침 자세에서 유의한 차이를 보여줬다(p<0.05)(Table 2).

Table 2. Mean of isolated activation ratio of supraspinatus and infraspinatus muscle on variations of forearm position during the lateral rotation of shoulder (N=22)

| | Neutral | Supination | Pronation | F | p |
|---------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|-------|-------|
| Supraspinatus | 31.59 ± 3.65 ^a | 28.44 ± 4.78 ^b | 39.97 ± 5.69 ^c | 22.79 | <0.01 |
| Infraspinatus | 35.29 ± 3.21 ^a | 34.83 ± 34.83 ^a | 29.88 ± 4.82 ^b | 7.36 | <0.01 |

Unit: %isolation

Values within a row with different superscripts are significant at p<0.05.

IV. 고 찰

어깨 관절은 인체에서 가장 큰 가동범위를 가지는 관절이지만 오목위팔관절의 접촉면이 작기 때문에 매우 불안정하다(Hertz, 1984). 이러한 불안정성을 보완하기 위해서 어깨관절 주위 구조물들과 함께 돌림근 띠와 위팔두갈래근 긴 머리 힘줄은 어깨 관절에 동적인 안정성을 제공한다(Mccluskey & Getz, 2000). 특히 어깨 질환이 있는 환자들의 경우 돌림근 띠 파열이 많으며, 돌림근 띠 중에서도 가시위근 손상 환자가 주를 이루고 있다. 또한 어깨 질환 환자는 초기 어깨관절의 바깥돌림 움직임이 다르게 나타나며 잘못된 움직임을 치료하기 위해서는 올림자세에서 특수한 운동방법을 이용하여 바깥돌림 패턴을 회복(Stokdijk et al., 2003) 하기도 하며, 바깥돌림 운동의 주동근인 가시아래근의 활성화를 통해 어깨 관절의 안정성을 높인다(Kang, 2017). 따라서 가시위근과 가시아래근의 활성도가 어깨의 기능적인 움직임에 중요한 역할을 할 것으로 여겨진다. 지금까지 대부분의 어깨 근력과 관련된 선행 연구를 살펴보면 근력 측정 자세는 팔꿈치 관절의 90도 굽힘, 어깨관절의 90도 바깥돌림 자세에 측정되는 경우가 일반적이었으나, 팔의 당기고 미는 힘을 측정할 때 팔꿈치 각도에 따라 힘의 차이가 크게 나타나듯이(Kim et al., 1990), 아래팔의 자세 변화에 따라 가시위근과 아시아래근의 독립활성도에도 차이를 보일 것이다.

본 연구의 결과, 아래팔의 자세 변화에 따라 가시위근과 가시아래근의 독립활성도는 유의한 차이를 나타냈으며($P < 0.05$), 가시위근의 경우 아래팔의 옆침, 중립, 뒤침 순서로, 가시아래근의 경우 아래팔의 중립, 뒤침, 옆침 순서로 독립활성도의 크기가 크게 나타나 가시위근의 활성화를 위해서는 아래팔의 옆침, 가시아래근의 활성화를 위해서는 아래팔의 중립 자세나 뒤침이 유리할 것으로 사료된다. 가시아래근의 경우 아래팔의 중립자세에서 보다 뒤침에서 위팔뼈의 머리를 가쪽돌림시켜 어깨관절 가쪽돌림의 가동범위가 커져(Choi, 2012) 아래팔의 뒤침에서 가시아래근의 활성

화가 가장 클 것이라는 예상과는 다르게 중립자세에서 어깨관절 바깥돌림 시 활성화가 가장 크게 나타났으나, 결과 값이 유의한 차이는 보이지 않아 가시아래근 훈련 시 아래팔의 중립 자세와 뒤침에서 효과에 대한 큰 차이는 없을 것으로 사료된다. 가시위근은 가시아래근과 반대로 아래팔의 옆침에서 가장 큰 활성도를 보였다. 가시위근은 돌림근 띠 중에서 파열이 가장 흔하게 발생하는 근육이며, 가시위근의 파열과 함께 위팔뼈머리의 상방 전이로 인하여 어깨관절이 불안정해질 경우 위팔두갈래근이 보상작용으로 위팔뼈머리를 압박하여 어깨관절의 안정성을 돕게 된다(Itoi et al., 1993). 이를 통해 위팔두갈래근의 활성도가 높아지면 가시위근의 활성도가 낮아지는 반비례관계를 예측할 수 있다. 위팔두갈래근은 아래팔의 옆침에서 보다 중립 자세나 뒤침에서 유의하게 근활성도가 높게 나타나며(Lee et al., 2021), 본 연구의 결과에서도 위팔두갈래근과는 반대로 아래팔의 옆침 시 가시위근의 활성도가 가장 높았다. 강경환(2017)은 아래팔의 뒤침 자세가 가시위근의 활성도를 높이는 자세라고 하였는데 본 연구에서는 옆침 자세에서 가장 큰 활성도를 보여 다른 결과를 나타냈다. 그 이유는 어깨 세모근의 활성도가 거의 일어나지 않도록 만들어진 측정장비를 사용해 측정했기 때문이라고 판단된다. 가시아래근의 경우 어깨관절의 가쪽돌림 시 가시아래근의 약화가 있을 경우 후면 어깨세모근의 과활성화를 동반(Sahrman, 2002; Page, 2011)하며 아래팔의 옆침 자세에서 뒤어깨세모근의 활성도가 가장 높아(Lee et al., 2021) 가시아래근의 활성도를 떨어뜨리게 된다. 어깨세모근이 어깨관절 안정성에 도움이 되는 중요한 근육이기는 하지만 어깨 바깥돌림 시 위팔뼈머리의 머리쪽 이동을 발생시켜 봉우리와 부딪힘을 야기한다(Bitter et al., 2007). 따라서 가시아래근을 더욱 효율적으로 훈련시키기 위해서는 어깨세모근의 활성도를 최소화 시키는 자세로 훈련해야 한다. 따라서 가시위근과 가시아래근을 운동 시키기 전, 어깨세모근의 활성도가 일어나지 않은 상태에서의 가시위근과 가시아래근의 독립활성도를 먼저 확인한 후, 이를 바탕으로

아래팔의 자세를 고려해 볼 필요가 있을 것이며, 이와 같이 어깨 손상 환자의 경우 주변 근육 활성도의 유의한 차이에 따라 효율적인 운동 자세가 달라 질 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서 가시아래근의 독립활성도 결과 값이 중립과 뒤침에서 유의한 차이를 나타내지 않아 임상적인 의미는 크지 않을 것으로 여겨졌다. 그러나 향후 더 많은 대상자를 통한 분석을 해 볼 필요가 있으며, 측정하고자 하는 근육의 독립활성도는 측정방법 및 자세 변화에 따라 주변 근육의 활성화에 영향을 미치게 되어 결과 값에 유의한 차이를 나타낼 수 있어 앞으로 근활성도의 측정에 있어서 측정도구 및 자세 변화에 따른 독립활성도 분석과 같은 심도 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다. 특히나 어깨 관절은 기능적 가동성이 많은 부위로 어깨 관절 움직임에 영향을 줄 수 있는 다양한 관점에서 분석이 필요할 것으로 사료되며, 이를 토대로 임상에서 어깨 손상 환자의 기능적 어깨 훈련 방법에 적극 반영할 필요가 있을 것으로 생각된다.

V. 결론

본 연구의 결과 아래팔의 자세 변화에 따라 가시위근과 가시아래근의 독립활성도는 유의한 차이를 나타냈으며, 가시위근은 아래팔의 옆침, 중립, 뒤침 순서로 가시아래근은 아래팔의 중립, 뒤침, 옆침 순서로 독립활성도의 크기가 크게 나타났다. 가시위근은 아래팔의 중립, 옆침과 뒤침에서 유의한 차이를 보여줬고, 가시아래근은 아래팔의 옆침 자세에서 유의한 차이를 보여줬다. 가시위근은 옆침자세에서, 가시아래근은 중립 또는 뒤침자세에서 어깨관절 바깥돌림 운동을 하는 것이 가장 좋을 것으로 사료된다.

References

Abrams JS. Arthroscopic techniques for massive rotator cuff

repairs. *Current Orthopedic Practice*. 2008;19(2): 181-190.

An SE, Kim BS. The effect of rehabilitation exercise programs on recoverability of muscle functions following the arthroscopy surgery performed on rotator cuff tear. *The Korean Journal of Sport*. 2013;11(1):301-9.

Arlotta M, Lovasco G, McLean L. Selective recruitment of the lower fibers of the trapezius muscle. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2011;21(3) 403-410.

Ballantyne BT, O'Hare SJ, Paschall JL, et al. Electromyographic activity of selected shoulder muscles in commonly used therapeutic exercises. *The Journal of Korean Society of Physical Therapy*. 1993;73(10):668-682.

Bitter NL, Clisby EF, Jones MA, et al. Relative contributions of infraspinatus and deltoid during external rotation in healthy shoulders. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2007;16(5):563-8.

Blackard DO, Jensen RL, Ebben WP. Use of EMG analysis in challenging kinetic chain terminology. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1999;231(3):443-448.

Blackburn T. EMG analysis of posterior rotator cuff exercises. *Journal of Athletic Training*. 1990;25:40-45.

Brotzman SB, Wilk KE. Clinical orthopedic rehabilitation. Seoul. Hanmi medical. 2005.

Choi H. The Effect of hand grip force on the activity of shoulder muscles in the patterns of arm position. *The Journal of digital policy & management*. 2012;10(9):435-441.

Diamond W. The shoulder, saunders manual of physical therapy. 1st ed. Philadelphia, Pennsylvania. Saunders Company. 1995.

Eom AY, Lee EO. Shoulder range of motion in postmastectomy patients. *Journal of Korean Oncology Nursing*. 2004;4(1):62-70.

Hedt C, Lambert BS, Daum J, et al. Forearm position matters during eccentric shoulder exercise: an EMG recruitment study with implications for rehabilitation.

- International Journal of Sports Physical Therapy*. 2020;15(6):1110-1118.
- Hertz H. Significance of the limbus glenoidalis for the stability of the shoulder joint. *Wiener klinische Wochenschrift. Supplementum*. 1984;152:1-23.
- Hyong IH. Effects of squats accompanied by hip joint adduction on the selective activity of the vastus medialis oblique. *Journal of Physical Therapy Science*. 2015;27(6):1979-19.
- Irish SE, Millward AJ, Wride J, et al. The effect of closed-kinetic chain exercises and open-kinetic chain exercise on the muscle activity of vastus medialis oblique and vastus lateralis. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2010;24(5):1256-1262.
- Itoi E, Kuechle DK, Newman SR, et al. Stabilising function of the biceps in stable and unstable shoulders. *The Journal of bone and joint surgery*. British volume. 1993;75(4):546-550.
- Jang JW. The change of muscle activation in quadriceps femoris muscle during taking open kinetic chain exercise and closed kinetic chain exercise. Korea University. Dissertation of Master's Degree. 2003.
- Kang KH. The study about muscle activities and ROM of shoulder joint according to supination during external rotation. *Korean society for Wellness*. 2017;12(4):553-563.
- Kelly BT, William RJ, Cordasco FA, et al. Differential patterns of muscle activation in patients with symptomatic and asymptomatic rotator cuff tears. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2005;14(2):165-71.
- Kim JH, Park SC, Jang MH et al. A study on muscular strength of Korean young males. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*. 1990;9(2):37-46.
- Kolber MJ, Beekhuizen KS, Santore T et al. Implications for specific shoulder positioning during external rotator strengthening. *Strength and Conditioning Journal*. 2008;30(4):12-16.
- Lee DK, Jeong WK, Kim TK, et al. Comparison of rotational strength in shoulders with anterior instability and normal shoulders using isokinetic testing. *Clinics in Shoulder and Elbow*. 2012;15(2):79-85.
- Lee GB, Hwang JM, Lee DY et al. The effect of forearm position on the activity of the upper-extremity muscles during shoulder external rotation exercise using a pulley. *Neurotherapy*. 2021;25(2):9-15.
- Ludewig PM, Hoff MS, Osowski EE, et al. Relative balance of serratus anterior and upper trapezius muscle activity during push-up exercises. *American Journal of Sports Medicine*. 2004;32(2):484-493.
- Mccluskey GM, Getz BA. Pathophysiology of anterior shoulder instability. *Journal of Athletic Training*. 2000;35(3):268-272.
- Neer CS II. Impingement lesions. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*. 1983;173:70-77.
- Oh JS, Park JS, Kim SY, et al. Comparison of muscle activity during a push-up on a suspension sling and a fixed support. *Physical Therapy Korea*. 2003;10(3):29-40.
- Page P. Shoulder muscle imbalance and subacromial impingement syndrome in overhead athletes. *International Journal of Sports Physical Therapy*. 2011;6(1):51-58.
- Park SY, Yoo WG. Activation of the serratus anterior and upper trapezius in a population with winged and tipped scapulae during push-up-plus and diagonal shoulder-elevation. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*. 2015;28(1):7-12.
- Reinold MM, Wilk KE, Fleisig GS, et al. Electromyographic analysis of the rotator cuff and deltoid musculature during common shoulder external rotation exercises. *Journal of Orthopedic and Sports Physical Therapy*. 2004;34(7):385-394.
- Sahrmann S, Azevedo DC, Dillen LV. Diagnosis and treatment of movement system impairment syndromes. *Brazilian Journal of Physical Therapy*. 2017;21(6):

- 391-399.
- Sahrmann SA. *Diagnosis and Treatment of movement impairment syndromes*; Mosby: St. Louis, MO. USA. 2002.
- Stokdijk M, Eilers PH, Nagels J, et al. External rotation in glenohumeral joint during elevation of the arm. *Clinical Biomechanics*. 2003;18(4):296-302.
- Wang HK, Juang LG, Lin JJ, et al. Isokinetic performance and shoulder mobility in taiwanese elite junior volleyball players. *Isokinetics and Exercise Science*. 2004;12(4):135-141.
- Woo DP, Lee DC. Effects of forearm posture on push and pull force. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*. 2013;332-336.
- Worland RI, Lee D, Orozco CG, et al. Correlation of age, acromial morphology, and rotator cuff tear pathology diagnosed by ultrasound in asymptomatic patients. *Journal of the Southern Orthopaedic Association*. 2003;12:23-26.
- Yoon K, Lim JY, Jung SH, et al. Tendinopathy, partial-thickness and full-thickness tears of supraspinatus tendon: comparison of clinical findings and functional disabilities. *Journal of Korean Sports Medicine*. 2007;25(2):210-14.