

Original Article

Open Access

수동적 어깨뼈 자세 교정 전략과 능동적 어깨뼈 뒤쪽 기울임 전략이 어깨뼈 주변근육 활성화도에 미치는 영향

강민혁[†]

부산가톨릭대학교 물리치료학과

Effects of Passive Scapular Postural Correction and Active Scapular Posterior Tilt Strategies on Peri-scapular Muscle Activation

Min-Hyeok Kang P.T., Ph.D.[†]

Department of Physical Therapy, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan

Received: July 14, 2022 / Revised: July 25, 2022 / Accepted: July 26, 2022

© 2022 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 effects of passive scapular upward rotation and posterior tilt and active scapular posterior tilt on the muscle activity of the upper trapezius (UT), lower trapezius (LT), and serratus anterior (SA).

Methods: Fifteen healthy subjects performed general arm elevation, arm elevation with passive scapular upward rotation and posterior tilt, and arm elevation with active scapular posterior tilt. For active scapular posterior tilt, the subjects were trained in this movement using visual biofeedback and a motion sensor. During each arm elevation condition, electromyography was used to measure the muscle activity of the UT, LT, and SA. The measured data were analyzed using a one-way repeated ANOVA.

Results: LT muscle activity was significantly increased during arm elevation with active scapular posterior tilt compared to both general arm elevation and arm elevation with passive scapular upward rotation and posterior tilt ($p < 0.05$). SA muscle activity was greater during arm elevation with passive scapular upward rotation and posterior tilt than during general arm elevation ($p < 0.05$). There was no significant change in UT muscle activity among the tested arm elevation conditions ($p > 0.05$).

Conclusion: Performing arm elevation with active scapular posterior tilt and performing arm elevation with passive scapular upward rotation and posterior tilt may be useful strategies for increasing muscle activation of the LT and SA, respectively.

Key Words: Scapular posterior tilt, Scapular upward rotation, Serratus anterior, Lower trapezius

[†]Corresponding Author : Min-Hyeok Kang (kmhyuk01@gmail.com)

I. 서론

적절한 어깨뼈 주변 근육들(periscapular muscles)의 활성도는 올바른 어깨뼈 정렬과 움직임을 만드는데 중요한 역할을 한다(Huang et al., 2015; Huang et al., 2018). 이전 연구에 따르면, 과도한 위등세모근의 활성도와 저하된 아래등세모근 및 앞톱니근의 활성도가 어깨충돌증후군 환자들에게서 발생하였다고 보고하였는데(Cools et al., 2007; Cools et al., 2003; Ludewig & Cook, 2000), 이는 어깨뼈 주변근육들의 잘못된 활성 패턴이 부적절한 어깨뼈 정렬 및 움직임에 기여한다는 사실을 보여준다. 이러한 어깨뼈 주변 근육들의 근수축 불균형 시 발생하는 대표적인 부적절한 어깨뼈 움직임은 팔 들어올리기 시 나타나는 어깨뼈 위쪽 돌림 및 어깨뼈 뒤기울임의 감소이다(Ludewig & Cook, 2000; Su et al., 2004). 따라서 올바른 어깨뼈 움직임 회복을 위해서는 위등세모근에 대한 아래등세모근과 앞톱니근의 근활성도를 증가시켜 줄 수 있는 운동 방법이 필요하다.

어깨뼈 주변 근육들의 근수축 불균형을 해결하기 위해 수동적 어깨뼈 자세 교정은 유용한 전략이 될 수 있다(Cole et al., 2013; Kim et al., 2019; Selkowitz et al., 2007). 수동적 어깨뼈 자세 교정은 정상적인 어깨뼈 움직임을 유도함으로써(Van Herzele et al., 2013) 아래등세모근의 근활성도를 효과적으로 증가시킬 수 있다(Selkowitz et al., 2007). 이전 연구들은 주로 보조기나 테이핑을 이용한 수동적 어깨뼈 자세 교정의 효과를 검증하였으나(Cole et al., 2013; Selkowitz et al., 2007), 최근 연구에서는 치료사에 의해 제공되는 수동적 어깨뼈 위쪽돌림 및 뒤기울임이 아래등세모근과 앞톱니근의 근활성도를 유의하게 증가시켜줄 수 있다는 사실이 검증되었다(Kim et al., 2019). 임상적 환경을 고려할 때, 치료사에 의해 제공하는 수동적 어깨뼈 자세 교정은 보조기나 테이핑을 이용한 방법보다 임상에서 더 쉽고 간편하게 활용될 수 있을 것이다.

아래등세모근의 근활성도를 증가시킬 수 있는 방법으로서는 최근에는 능동적 어깨뼈 뒤기울임을 이용한 새로운 운동 전략이 소개되었다(Kang, 2019; Kim &

Kang, 2020; Kim et al., 2021). 이 연구들에서는 엷드려 누운자세 어깨 수평벌림(pone shoulder horizontal abduction) 운동 수행 시 능동적 어깨뼈 뒤기울임을 적용하였을 때, 아래등세모근 근활성도와 아래등세모근/위등세모근의 근활성도 비율이 유의하게 증가되었다(Kang, 2019; Kim & Kang, 2020; Kim et al., 2021). 위 연구들의 저자들은 어깨뼈 뒤기울임이 아래등세모근의 주요 작용 중 하나라는 생체역학적 특징을 근거로, 능동적 어깨뼈 뒤기울임 움직임이 아래등세모근을 효과적으로 활성화시켜 줄 수 있다고 제안하였다(Kang, 2019; Kim & Kang, 2020; Kim et al., 2021).

이전 연구들을 살펴보았을 때, 어깨뼈 위쪽돌림과 어깨뼈 뒤쪽 기울임을 유도하는 운동 전략들이 아래등세모근 및 앞톱니근의 근활성도를 효과적으로 증가시켜 줄 수 있다는 사실을 알 수 있다(Kang, 2019; Kim & Kang, 2020; Kim et al., 2019; Kim et al., 2021). 하지만, 수동적인 어깨뼈 위쪽돌림 및 어깨뼈 뒤기울임 운동 전략과 능동적인 어깨뼈 뒤기울임 운동 전략 중 어떠한 방법이 더 효과적으로 아래등세모근과 앞톱니근의 근활성도를 촉진시켜 줄 수 있는지 살펴본 연구는 없었다. 두 가지 운동 효과를 비교한다면, 능동적인 운동 방법과 수동적인 운동방법의 효과 비교뿐만 아니라, 어깨뼈 위쪽돌림이 등세모근과 앞톱니근에 미치는 영향도 확인할 수 있을 것이라 생각된다. 또한, 두 가지 운동 효과의 비교는 물리치료사들이 아래등세모근과 앞톱니근의 근활성도를 증가시킬 수 있는 운동전략을 계획하는데 도움을 줄 수 있을 것이다. 따라서, 본 연구는 팔 들어올리기 시 두 가지 어깨뼈 움직임 운동 전략들이 위등세모근, 아래등세모근, 앞톱니근의 근활성도에 미치는 영향을 비교하기 위하여 실시되었다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구를 위해 최근에 어깨 통증을 경험하지 않은 15명의 건강한 성인 남성(나이: 23.53±1.96세; 신장:

175.33±4.82cm; 체중: 72.93±12.39kg)이 참여하였다. 부딪힘증후군 또는 유착성 관절주머니염 관련 어깨 손상을 진단받은 경험이 있는 자는 본 연구의 대상자에서 제외되었다. 모든 대상자들은 실험 전 실험참여에 대한 설명을 듣고 자발적으로 참여 동의를 하였으며, 본 연구는 부산가톨릭대학교 생명윤리심의위원회의 승인을 받아 진행되었다(CUPIRB-2021-052).

본 연구의 대상자 수 선정을 위해 Power analysis를 이용하였다. Power analysis를 실시한 결과, 아래등세모근의 근활성도 변화를 감지하기 위해서는($\alpha = 0.05$, 효과크기=0.8, 80% 검정력) 최소 15명이 필요한 것으로 분석되었으므로, 본 연구의 대상자 수를 15명으로 선정하였다.

2. 측정방법 및 도구

1) 어깨뼈 주변 근육 근활성도 측정

팔 들어올리기 시 위등세모근, 아래등세모근, 앞톱니근의 근활성도는 표면 근전도 시스템(Ultium EMG system, Noraxon Inc., USA)을 통해 측정되었다. 근전도 데이터의 표본추출률은 2,000Hz, 주파수대역폭은 10-450Hz로 각각 설정하였고, 수집된 근전도 데이터는 제곱평균제곱근(root mean square)으로 변환 처리되었다. 위등세모근, 아래등세모근, 앞톱니근의 근전도 전극은 Criswell(2010)이 제시한 방법에 따라 부착되었다. 팔 들어올리기 시 측정된 근전도 데이터를 정규화시키기 위해 위등세모근 및 아래등세모근(Kim et al., 2021)과 앞톱니근(Hislop et al., 2013)의 최대 수의적 등척성 수축(maximum voluntary isometric contraction, MVIC)을 각 근육마다 2회씩 실시하였다. 각각의 최대 수의적 등척성 수축은 5초간 실시되었으며, 중간 3초의 평균값을 계산한 후 2회의 평균값을 근활성도 정규화(%MVIC)를 위해 사용하였다.

3. 실험 절차

모든 대상자는 앉은 자세에서 일반적인 120° 팔 들

어올리기 동작, 수동적 어깨뼈 위쪽돌림 및 뒤기울임을 동반한 120° 팔 들어올리기 동작, 능동적 어깨뼈 뒤기울임 훈련, 능동적 어깨뼈 뒤기울임을 동반한 120° 팔 들어올리기 동작을 순차적으로 실시하였다. 모든 팔 들어올리기 동작은 어깨면(scaption)에서 실시(어깨면 어깨 벌림) 되었으며, 타겟바(target bar)를 이용해 각도를 통제하였다. 대상자는 모든 팔 들어올리기 과제 수행 시 2kg 덤벨을 들고 실시하였다(Kim & Weon, 2020)(Fig. 1). 대상자는 세 가지 팔 들어올리기 동작 조건을 각각 3회씩 실시하였으며, 각 횟수 사이마다 1분간의 휴식시간을 제공받았다.

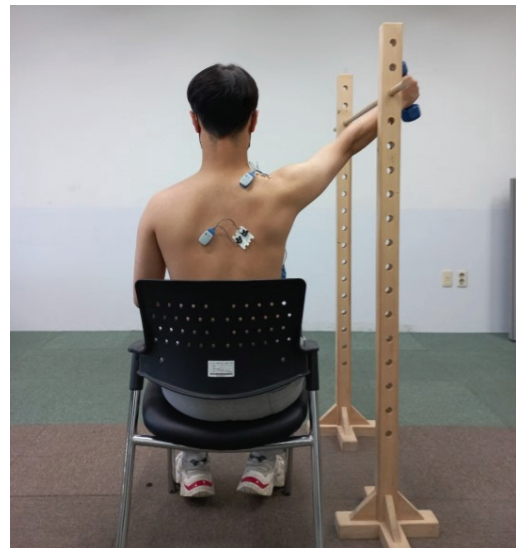


Fig. 1. Arm elevation task.

1) 일반적인 팔 들어올리기 동작

일반적인 팔 들어올리기 동작을 위해 대상자는 우세측 팔이 타겟바에 닿을 때까지 팔을 들어올렸으며, 팔이 타겟바에 닿았을 때 이 자세를 5초간 유지하였다.

2) 수동적 어깨뼈 위쪽돌림 및 뒤기울임을 동반한 팔 들어올리기 동작

수동적 어깨뼈 위쪽돌림 및 뒤기울임을 동반한 팔

들어올리기 동작을 위해 보조자가 대상자의 우세측 팔을 타겟바에 닿을 때까지 들어올려준 후, 검사자는 대상자의 어깨뼈를 수동적으로 위쪽돌림 및 뒤기울임 시켰다(Fig. 2). 검사자는 대상자에게 스스로 이 자세를 유지하라고 지시한 후, 검사자와 보조자의 도수 지지(manual support)를 제거하였다. 대상자는 검사자와 보조자의 지지없이 스스로 이 자세를 5초간 유지하였다.



Fig. 2. Application of passive scapular upward rotation and posterior tilt.

3) 능동적 어깨뼈 뒤기울임 훈련

능동적 어깨뼈 뒤기울임을 훈련시키기 위해 검사자는 대상자에게 봉우리를 반원을 그리듯이 뒤로 당기도록 구두 지시하였다(Kim et al., 2021). 이때 검사자는 대상자의 움직임 초기에 어깨뼈 모음이 발생되지 않도록 양손을 이용해 올바른 어깨뼈 뒤기울임 동작을 대상자에게 인지시켜 주었다. 검사자는 능동-보조 어깨뼈 뒤기울임 훈련 후 대상자의 어깨뼈가시뿌리(root of scapular spine)와 어깨뼈 아래각 중간지점에 움직임 센서(Smart KEMA motion sensor, KOREATECH Co., Ltd., Korea)를 부착하였다. 움직임 센서는 Smart

KEMA software(KOREATECH Co., Ltd., Korea)가 설치된 태블릿 PC를 통해 대상자에게 능동적 어깨뼈 뒤기울임 시 발생하는 어깨뼈 뒤기울임 변화량을 실시간으로 보여주기 위해 사용되었다. 대상자는 태블릿 PC 화면을 보며 능동적 어깨뼈 뒤기울임 훈련을 10분간 실시하였다(Fig. 3).

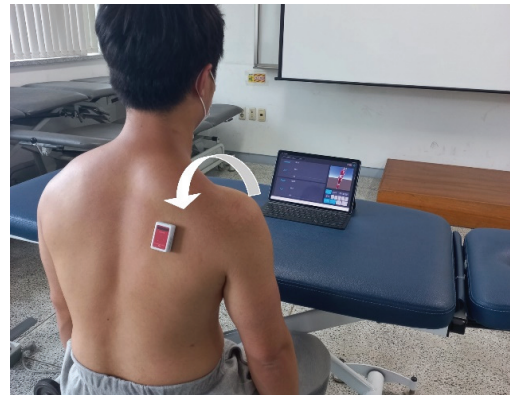


Fig. 3. Scapular posterior tilt training.

4) 능동적 어깨뼈 뒤기울임을 동반한 팔 들어올리기 동작

능동적 어깨뼈 뒤기울임을 동반한 팔 들어올리기 동작은 능동적 어깨뼈 뒤기울임 훈련 직후에 실시하였으며, 이 동작을 수행하는 동안 움직임 센서를 이용한 피드백은 제공되지 않았다.

능동적 어깨뼈 뒤기울임을 동반한 팔 들어올리기 동작을 위해 대상자는 팔 들어올리기 시작 자세에서 의도적으로 어깨뼈 뒤기울임을 먼저 실시한 후, 의도적인 어깨뼈 뒤기울임을 최대한 유지하면서 우세측 팔이 타겟바에 닿을 때까지 팔을 들어올렸다. 대상자는 팔이 타겟바에 닿았을 때 이 자세를 5초간 유지하였다.

4. 자료 분석

본 연구에서는 각각의 팔 들어올리기 동작 시 중간 3초의 평균 근활성도 값을 계산한 후, 팔 들어올리기

동작 조건별로 3회 평균값을 데이터 분석에 이용하였다. 팔 들어올리기 동작 조건에 따른 위등세모근, 아래등세모근, 앞톱니근의 근활성도를 일요인 반복측정분산분석(One-way repeated ANOVA)을 이용해 분석하였으며, 사후검정은 Bonferroni 검정을 이용하였다. 유의수준은 0.05로 설정하였고 IBM SPSS Statistics ver. 26.0(IBM Corp., USA)을 이용해 통계분석 하였다.

III. 연구 결과

아래등세모근과 앞톱니근의 근활성도는 팔 들어올리기 조건에 따라 유의한 차이가 있었으나($p < 0.05$), 위등세모근의 근활성도는 팔 들어올리기 조건에 따라 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$).

사후검정 결과 아래등세근의 근활성도는 능동적 어깨뼈 뒤기울임을 동반한 팔 들어올리기 동작에서 일반적인 팔 들어올리기 동작($p = 0.02$)과 수동적 어깨뼈 위쪽돌림 및 뒤기울임을 동반한 팔 들어올리기 동작($p = 0.01$)에 비해 유의하게 더 증가하였다. 하지만, 일반적인 팔 들어올리기 동작과 수동적 어깨뼈 위쪽돌림 및 뒤기울임을 동반한 팔 들어올리기 동작에서 아래등세모근의 근활성도는 유의한 차이가 없었다($p = 1.00$).

앞톱니근의 근활성도는 수동적 어깨뼈 위쪽돌림 및 뒤기울임을 동반한 팔 들어올리기 동작에서 일반적인 팔 들어올리기 동작에 비해 유의한 증가를 보였

으나($p = 0.04$), 능동적 어깨뼈 뒤기울임을 동반한 팔 들어올리기 동작과는 유의한 차이가 없었다($p = 0.17$). 또한, 일반적인 팔 들어올리기 동작과 능동적 어깨뼈 뒤기울임을 동반한 팔 들어올리기 동작에서 앞톱니근의 근활성도는 유의한 차이가 없었다($p = 0.73$).

IV. 고 찰

본 연구 결과는 팔 들어올리기 동작 수행 시 능동적 어깨뼈 뒤기울임 전략이 아래등세모근의 활성화를 촉진시킬 수 있는 반면 수동적 어깨뼈 위쪽돌림 및 뒤기울임은 앞톱니근의 활성화를 촉진시킬 수 있다는 사실을 증명하였다.

본 연구에서 아래등세모근의 근활성도는 일반적인 팔 들어올리기 동작에 비해 능동적 어깨뼈 뒤기울임을 동반한 팔 들어올리기 동작 시 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 이러한 연구 결과는 Kim & Kang (2020)과 Kim 등(2021)의 이전 연구와 유사한 결과이다. 이전 연구들에서 엎드려누운자세 어깨 수평벌림 운동 시 추가적인 능동적 어깨뼈 뒤기울임 적용은 아래등세모근의 근활성도를 증가시켰다(Kim & Kang, 2020; Kim et al., 2021). 어깨뼈 뒤기울임은 아래등세모근의 기능적 작용 중 하나인데, 일반적으로 특정 근육의 기능적 작용 수행은 그 근육의 근활성도를 증가시킨다고 보고되었다(McGilliard et al., 2010; Mew, 2009). 이전 연구결과들을 종합해볼 때, 능동적 어깨뼈 뒤기울임을

Table 1. Muscle activity data

	General arm elevation	Arm elevation with passive scapular upward rotation and posterior tilt	Arm elevation with active scapular posterior tilt	p
UT (% MVIC)	22.38±7.66	22.92±9.25	20.74±9.29	0.258
LT (% MVIC)	34.00±22.27 ^c	35.51±18.45 ^c	42.66±20.09 ^{a,b}	0.004*
SA (% MVIC)	33.08±7.53 ^b	37.19±9.94 ^a	34.98±9.63	0.021*

* $p < 0.05$.

Abbreviation: LT, lower trapezius; MVIC, maximum voluntary isometric contraction; SA, serratus anterior; UT, upper trapezius.

^aSignificant difference compared to general arm elevation.

^bSignificant difference compared to arm elevation with passive scapular upward rotation and posterior tilt.

^cSignificant difference compared to arm elevation with active scapular posterior tilt.

동반한 팔 들어올리기 동작 시 능동적인 어깨뼈 뒤기 올림 움직임이 아래등세모근의 활성화를 촉진시켜 결과적으로 아래등세모근의 근활성도를 증가시킨 것으로 사료된다.

본 연구에서 팔 들어올리기 동작 시 수동적 어깨뼈 위쪽돌림 및 뒤기올림을 적용한 조건과 능동적 어깨뼈 뒤기올림을 적용한 조건 모두에서 추가적인 어깨뼈 뒤기올림이 적용되었음에도 불구하고, 두 조건을 비교하였을 때 능동적 어깨뼈 뒤기올림을 적용한 조건에서 유의하게 증가된 아래등세모근의 근활성도가 나타났다($p < 0.05$). 이전 연구들은 대부분 수동적인 어깨뼈 자세 교정을 추가로 적용한 조건과 적용하지 않은 조건에서 어깨뼈 주변 근육들의 근활성도를 비교하였을 뿐(Cole et al., 2013; Selkowitz et al., 2007), 자세 변화를 유도할 수 있는 능동적 움직임 적용 조건과 비교하지는 않았다. 따라서, 본 연구 결과는 수동적 자세 교정보다 능동적 움직임 전략이 자세 및 움직임과 관련된 근육의 활성도를 더 크게 촉진시켜 줄 수 있다는 근거를 제시해 준다.

Kim 등(2019)의 이전 연구에서는 60° 수동적 팔 들어올리기 시 검사자에 의한 수동적인 어깨뼈 위쪽돌림 및 뒤기올림을 적용하였을 때 아래등세모근의 근활성도가 증가하였다. 하지만 본 연구에서는 팔 들어올리기 동작 수행 시 수동적 어깨뼈 위쪽돌림 및 뒤기올림을 적용한 조건과 적용하지 않은 조건에서 아래등세모근의 근활성도는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). Kim 등(2019)의 이전 연구에서는 대상자가 봉우리밀 충돌증후군 환자였던 반면, 본 연구의 대상자들은 증상이 없는 건강한 성인이었다. 봉우리밀 충돌증후군 환자는 비정상적인 어깨뼈 정렬을 지니고 있을 수 있으므로, 수동적인 어깨뼈 자세 교정의 효과는 건강인보다 봉우리밀 충돌증후군 환자들에게서 더 크게 나타날 것으로 생각된다. 그러므로, 이러한 대상자의 특성 차이로 인해 본 연구에서는 Kim 등(2019)의 이전 연구와 동일한 결과가 도출되지 않은 것으로 사료된다.

앞톱니근의 근활성도는 일반적인 팔 들어올리기 동작에 비해 수동적 어깨뼈 위쪽돌림 및 뒤기올림을

동반한 팔 들어올리기 동작 시 유의하게 증가하였으나($p < 0.05$), 능동적 어깨뼈 뒤기올림을 동반한 팔 들어올리기 동작과는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 본 연구에서 능동적 어깨뼈 뒤기올림 조건 수행 시 대상자는 어깨뼈 뒤기올림 움직임에 주로 초점을 맞추었다. 하지만, 수동적 어깨뼈 자세 교정 조건에서는 어깨뼈 뒤기올림과 어깨뼈 위쪽돌림이 모두 적용되었다. 앞톱니근은 어깨뼈 뒤기올림뿐 아니라 어깨뼈 위쪽돌림의 주동근으로 알려져 있으므로, 어깨뼈 위쪽돌림 정렬에서 앞톱니근의 활성도는 더 크게 증가될 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 수동적 어깨뼈 위쪽돌림 및 뒤기올림을 동반한 팔 들어올리기 동작 시 어깨뼈 위쪽돌림 정렬에 의해 앞톱니근의 근활성도가 가장 크게 증가된 것으로 사료된다. 또한, 일반적인 팔 들어올리기 조건과 능동적 어깨뼈 뒤기올림 조건 모두 추가적인 어깨뼈 위쪽돌림이 부족하였기 때문에 두 조건에서 앞톱니근의 근활성도는 유의한 차이가 없었던 것으로 사료된다.

본 연구에서 위등세모근의 근활성도는 세 가지 팔 들어올리기 동작간에 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 이러한 결과는 능동적 어깨뼈 뒤기올림 전략이 위등세모근보다 아래등세모근의 근활성도를 더 효과적으로 증가시킬 수 있다는 사실을 의미한다. 과도한 위등세모근의 활성화 또는 위등세모근/아래등세모근 근활성도 비율의 증가는 다양한 어깨 손상과 연관이 있다고 알려져 있다(Cools et al., 2007; Smith et al., 2009). 따라서, 능동적 어깨뼈 뒤기올림 전략은 아래등세모근의 선택적 근활성화를 향상시키는데 도움을 줄 수 있으므로 어깨 손상을 예방하기 위한 유용한 전략이 될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 어깨 손상 환자들이 본 연구에 포함되지 않았으며, 건강한 남성만이 본 연구에 참여하였다. 따라서, 본 연구 결과는 수동적 또는 능동적 어깨뼈 움직임 전략이 어깨 손상 환자들 또는 여성에게 미치는 영향을 검증하지 못하였다. 추후 연구에서는 이러한 대상자 그룹이 포함되어야 할 것이다. 둘째, 본 연구는 하나의 대상자

그룹만이 포함되었으므로, 다양한 어깨뼈 움직임 전략의 효과를 분명하게 검증하기 위해서는 무작위대조 군임상연구가 필요할 것으로 생각된다.

V. 결론

본 연구를 통해 팔 들어올리기 동작 수행 시 아래등 세모근의 근활성도는 능동적 어깨뼈 뒤기울임을 적용하였을 때 증가되는 반면, 앞톱니근의 근활성도는 수동적 어깨뼈 위쪽돌림 및 뒤기울임을 적용하였을 때 증가된다는 사실이 확인되었다. 이러한 연구 결과는 임상가들이 어깨뼈 주변 근육들의 활성화 패턴을 향상시키기 위한 운동방법을 계획할 때 도움을 줄 수 있을 것이다.

Acknowledgements

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R1F1A1047329).

References

- Cole AK, McGrath ML, Harrington SE, et al. Scapular bracing and alteration of posture and muscle activity in overhead athletes with poor posture. *Journal of Athletic Training*. 2013;48(1):12-24.
- 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, Witvrouw EE, Declercq GA, et al. Scapular muscle recruitment patterns: trapezius muscle latency with and without impingement symptoms. *The American Journal of Sports Medicine*. 2003;31(4):542-549.
- Criswell E. Cram's introduction to surface electromyography, 2nd ed. Sudbury. Jones and Bartlett Publishers. 2010.
- Hislop HJ, Avers D, Brown M. Daniels and Worthingham's muscle testing: Techniques of manual examination and performance testing, 9th ed. St. Louis. Elsevier. 2013.
- Huang TS, Du WY, Wang TG, et al. Progressive conscious control of scapular orientation with video feedback has improvement in muscle balance ratio in patients with scapular dyskinesis: a randomized controlled trial. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2018;27(8):1407-1414.
- Huang TS, Ou HL, Huang CY, et al. Specific kinematics and associated muscle activation in individuals with scapular dyskinesis. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2015;24(8):1227-1234.
- Kang MH. Arm lifting exercises for lower trapezius muscle activation. *Journal of International Academy of Physical Therapy Research*. 2019;10(4):1868-1872.
- Kim MJ, Weon JH. What humeral position is better to prevent shoulder impingement during arm elevation? *Journal of Musculoskeletal Science and Technology*. 2020; 4(1):30-39.
- Kim SJ, Kang MH. Influence of pre-emptive scapular posterior tilt on scapular muscle activation and scapulohumeral movements during shoulder horizontal abduction in the prone position. *Journal of International Academy of Physical Therapy Research*. 2020;11(4):2173-2177.
- Kim SY, Yu IY, Oh JS, et al. Effects of intended scapular posterior tilt motion on trapezius muscle electromyography activity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18(17):9147.

- Kim SY, Weon JH, Jung DY, et al. Effect of the scapula-setting exercise on acromio-humeral distance and scapula muscle activity in patients with subacromial impingement syndrome. *Physical Therapy in Sport*. 2019;37:99-104.
- 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.
- McGalliard MK, Dedrick GS, Brismée JM, et al. Changes in transversus abdominis thickness with use of the abdominal drawing-in maneuver during a functional task. *PM&R*. 2010;2(3):187-194.
- Mew R. Comparison of changes in abdominal muscle thickness between standing and crook lying during active abdominal hollowing using ultrasound imaging. *Manual Therapy*. 2009;14(6):690-695.
- Selkowitz DM, Chaney C, Stuckey SJ, et al. The effects of scapular taping on the surface electromyographic signal amplitude of shoulder girdle muscles during upper extremity elevation in individuals with suspected shoulder impingement syndrome. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2007;37(11):694-702.
- Smith M, Sparkes V, Busse M, et al. Upper and lower trapezius muscle activity in subjects with subacromial impingement symptoms: is there imbalance and can taping change it? *Physical Therapy in Sport*. 2009;10(2):45-50.
- Su KP, Johnson MP, Gracely EJ, et al. Scapular rotation in swimmers with and without impingement syndrome: practice effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2004;36(7):1117-1123.
- Van Herzele M, van Cingel R, Maenhout A, et al. Does the application of kinesiotape change scapular kinematics in healthy female handball players? *International Journal of Sports Medicine*. 2013; 34(11):950-955.