

Original Article

Open Access

## 상지의 대각선 운동형태와 수축형태에 따른 근활성도 비교연구

김수한<sup>1</sup> · 박세연<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>가야대학교 물리치료학과, <sup>2</sup>위덕대학교 물리치료학과

### Comparison Among Shoulder Diagonal Pattern of Exercises Considering Phase of Contraction Based on Muscle Activity

Soo-Han Kim, P.T., Ph.D.<sup>1</sup> · Se-Yeon Park, P.T., Ph.D.<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Therapy, Kaya University

<sup>2</sup>Department of Physical Therapy, Uiduk University

Received: April 2, 2024 / Revised: April 5, 2024 / Accepted: April 8, 2024

© 2024 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 present study investigated how variations in diagonal exercises affect shoulder muscle activity, examining changes in neuromuscular activation during scapular and shoulder diagonal patterns of exercises. Furthermore, we explored whether the exercise phase affects muscle activation.

**Methods:** Sixteen asymptomatic male participants were recruited. Four diagonal pattern exercises (scapular anterior elevation, posterior elevation, flexion-adduction-external rotation, flexion, abduction-external rotation), and two exercise phases (concentric and eccentric) were administered. Surface electromyography data were collected.

**Results:** Upper trapezius activity was significantly higher during the concentric phase of scapular posterior elevation exercises compared with the others ( $p < 0.05$ ). The serratus anterior, anterior deltoid, and infraspinatus activities were significantly higher during shoulder diagonal pattern exercises compared with the scapular diagonal pattern exercises ( $p < 0.05$ ). Except for the lower trapezius, muscular activities during the concentric phase were significantly greater compared with the eccentric phase ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion:** The current study suggests that the diagonal pattern of exercise may contribute to selective strengthening of the shoulder complex muscles and that the form of exercise should be tailored to the subject. It also suggests that diagonal exercises with concentric contractions tend to be more beneficial than eccentric contractions for overall muscle recruitment, but the effects vary for specific diagonal patterns.

**Key Words:** Electromyography, Exercise, Infraspinatus, PNF

†Corresponding Author : Se-Yeon Park (arclain@naver.com)

## I. 서론

어깨 손상을 예방하고 운동 능력을 향상하려면 운동선수와 어깨 부상 환자 모두에게 어깨 근육을 강화하는 적절한 운동을 선택하는 것이 필요하다(Ebaugh et al., 2006; Tucker et al., 2010). 어깨뼈와 돌림띠 근육이 균형 잡혀 있어야 기능적인 팔 올리기 동작 중에 어깨뼈와 위팔뼈를 적절하게 위치시킬 수 있다(Ebaugh et al., 2006). 어깨의 다축 운동에 기여하는 근육을 활성화하기 위한 상지의 대각선 패턴은 종종 강화 운동에 사용된다(Andersen et al., 2010; Youdas et al., 2012). 클라이언트의 재활과정에서 고유수용성 신경근 촉진법(Proprioceptive Neuromuscular Facilitation, PNF)의 대각선 패턴 운동은 근력강화를 위한 저항운동의 한 요소이다(Adler et al., 2008). 어깨복합체의 대각선 운동은 크게 오목위팔관절의 운동 2가지(굽힘, 모음, 바깥돌림 - 펴, 벌림, 안쪽돌림; 어깨관절 굽힘, 벌림, 바깥돌림 - 어깨관절 펴, 모음, 안쪽돌림)과 어깨뼈의 대각선 운동 2가지(앞쪽올림-뒤쪽내림; 뒤쪽올림-앞쪽내림)으로 구분된다.

총 4가지의 대각선 운동 모두 오목위팔관절 주변 근육과 어깨뼈 주변 근육의 강화에도 효과적이라고 알려져 있다(Adler et al., 2008). 기존에 보고된 연구는 두 가지 대각선 패턴의 동심성 수축 구간을 비교하여 굽힘-벌림-바깥돌림을 포함하는 어깨관절 운동이 아래등세모근과 앞뿔니근 활성화에 효과적이라고 보고하였으며(Kim et al. 2014), Ekstrom 등(2003)은 팔을 들어 올리는 오목위팔관절의 굽힘-모음-바깥돌림 패턴의 운동이 어깨뼈 근육 활동을 활성화하는 데 효과적이라고 제안했으며, 보고에 따르면 이 운동이 날개 어깨뼈를 가진 대상자의 위등세모근과 하부앞뿔니근 모두를 활성화하는 데 효과적이라는 사실이 제시하였다(Park & Yoo, 2015). 그러나 기존 연구들에서 오목위팔관절의 대각선 패턴뿐만 아니라 어깨뼈의 대각선 운동을 포함하여 직접적으로 보고한 연구는 없다.

상지에 적용한 편심성 운동은 힘줄염 환자의 근력 상승에 있어서 효과적이라고 보고된다(Ortega-Castillo

& Medina-Porqueres., 2016). 최근의 래터럴레이즈(lateral raise) 운동의 효과를 보고한 근전도 연구에서는 편심성 구간과 동심성 구간에서의 근활성도가 비슷하다고 보고하였으며(Coratella et al., 2020), Fukunaga 등(2022)은 바깥돌림 요소를 포함하는 편심성을 강조한 상지운동이 아래가시근과 아래등세모근을 자극하는데 효과적이라고 제시하였다(Fukunaga et al., 2022). 반면에 보다 이전의 연구에서는 상지의 편심성 운동이 동심성 운동구간보다 낮은 근활성도를 보이며(Rodrigues et al., 2005), 운동구간에 따라 근육의 선택적 활성화가 발생할 수 있음을 제시하였다(Doma et al., 2013).

우리가 아는 지식한도에서 대각선 방향의 운동을 동심성 구간과 편심성 구간으로 나누어 근활성도를 직접적으로 비교한 연구는 없었으며, 네가지 대각선 운동 모두를 비교한 연구는 없었다. 따라서, 본 연구는 고유수용성 신경근 촉진법의 어깨복합체에 작용하는 네 가지 패턴의 대각선 운동이 작용하는 근육에 미치는 영향을 운동패턴의 비교 및 동심성-편심성 구간의 비교를 통해 알아보려고 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 대상자

본 연구는 평균 키와 몸무게가 각각  $174.24 \pm 3.2\text{cm}$ ,  $67.26 \pm 5.38\text{kg}$ 인 20~24세 남성 16명을 대상으로 진행하였다. 피험자는 편의 표본 추출을 통해 지역 대학에서 모집되었으며, 대상자 선정 기준은 체질량지수가 25를 넘지 않고 오른손을 주로 사용하는 자로 설정하였다. 운동 수행 능력에 영향을 미칠 수 있는 상지 또는 하지 부상이나 질병의 병력이 있는 피험자는 본 연구에서 제외되었다. 실험에 참가하기전 피험자들은 실험에 대한 상세한 설명을 듣고 K대학교 인간윤리위원회에의 규정에 따라 사전 동의를 받아 실험에 참가하였다.

## 2. 측정장비

대상자의 어깨관절 주변 근육들의 근전도 자료를 수집하기 위하여 무선 표면근전도(Free EMG300, BTS Bioengineering, Italy)를 사용하였다. 위등세모근(Upper trapezius, UT), 아래등세모근(Lower trapezius, LT), 앞톱니근(Serratus anterior, SA), 앞어깨세모근(Anterior deltoid, AD), 아래가시근(Infraspinatus, IS)의 근활성도를 측정하였으며, 수집된 자료는 근전도 소프트웨어를 사용하여 분석하였다. 초당 1000개의 자료를 수집하였으며, 주파수 폭은 50~450Hz로 설정하였다. 자료분석을 위하여 모든 자료는 평균 제곱근(root mean square, RMS) 처리를 하였다. 표면 전극의 부착부위로서 위등세모근 전극은 일곱번째 목척추뼈의 가시돌기와 봉우리돌기 사이 중간지점에, 아래등세모근은 여섯번째 가슴척추뼈 가시돌기에서 가쪽 대각선 방향으로 1.5cm 떨어진 근복지점에, 앞톱니근은 일곱 번째 갈비뼈 높이에서 겨드랑이로부터 중간 선상에 있는 근복지점에 부착하였다. 앞어깨세모근의 전극은 빗장뼈 아래 약 4cm 높이에서 위팔뼈의 앞쪽 측면에, 가시아래근 전극은 어깨뼈 가시 아래 4cm 지점에서 측면부 근복에 전극을 부착하였다(Cram et al., 1998). 전극을 부착하기 전에 피부를 면도하고 고운 사포로 연마한 후 알코올로 세척하여 저항을 최소화하였다. 수집된 근전도 값은 정량화된 근전도 값으로 나타내어 통계분석을 위해 사용하였다.

## 3. 실험절차

최대 수의적 등척성 수축(Maximal voluntary isometric contraction, MVIC) 시의 근전도자료 값을 수집하여 근전도 값을 정량화(%MVIC)하였다. 임상 문헌과 이전 연구에서 제안한 절차에 따라 각 근육의 MVIC를 측정하였으며(Kendall et al., 2005), 두 번의 MVIC 평균값을 정량화를 위한 수치로 사용하였다. 모든 대상자에게 측정 사이에 1분간 휴식을 제공하였다. 대상자들은 서 있는 자세에서 네가지 종류의 대각

선 운동을 수행하였다. 첫번째 오목위팔관절 대각선 굽힘을 수행하기 위해 대상자는 팔을 오른쪽 옆으로 내린 상태에서 시작하여 오목위팔관절 굽힘, 모음 및 바깥돌림 동작을 통해 왼쪽 귀 쪽으로 팔을 들어 올렸다. 두번째 오목위팔관절 대각선 굽힘은 대상자가 팔을 허리 왼쪽에서 시작하여 팔을 머리 오른쪽 위로 올리는 동작으로 오목위팔관절 굽힘, 벌림, 바깥돌림 동작을 수행하였다. 세번째, 어깨뼈 대각선 운동으로는 어깨뼈를 앞쪽 올림하는 동작으로 대상자가 팔을 오른쪽 옆으로 내린 상태에서 어깨를 코방향으로 당기도록 지시하였다. 네번째 어깨뼈의 대각선 운동으로는 어깨뼈를 뒤쪽 올림하는 동작으로 대상자가 팔을 오른쪽 옆으로 내린 상태에서 어깨를 위쪽 뒤 방향으로 움직리도록 지시하였다. 대각선 운동 중 위팔에 피험자 체중의 5%의 커프 하중을 줄 수 있도록 웨이트 백을 착용하였다(Kim et al., 2014). 각 피험자는 메트로놈에 의해 제어되는 3초의 시간 동안 운동을 수행했으며(동심성 구간), 끝동작에서 다시 위위치로 3초의 시간동안 움직이도록 지시하였다(편심성 구간). 피험자에게는 운동과 필요한 속도에 적응할 수 있도록 3분간의 연습 시간이 주어졌으며, 운동 사이에 3분간의 휴식 시간이 주어졌다. 각 대각선 운동은 준비행기 형식으로 무작위화하여 3번 반복 측정하였으며, 세션 사이에는 60초의 휴식 시간이 주어졌다.

## 4. 통계분석

수집된 자료는 SPSS(ver.18.0, IBM knowledge center)를 사용하여 통계분석을 실시하였다. 두가지 요인(네가지 대각선 패턴 운동, 2가지 운동구간)을 분석하기 위해 이요인 반복측정 분산분석(Two-way repeated ANOVA)을 사용하였다. 두 요인간 상관관계가 발생할 경우에는 동심성 구간과 편심성 구간에 대한 운동패턴 분석으로 일요인 반복측정 분산분석(One-way repeated ANOVA)를 사용하였다. 통계학적 유의 수준은 0.05로 설정하였다.

### Ⅲ. 연구 결과

#### 1. 동심성 구간에서의 대각선 운동 종류에 따른 근활성도의 변화

본 연구에서 측정된 모든 근육의 근활성도는 대각선 운동 종류에 따라 유의한 차이를 보였다(Table 1)( $p<0.05$ ). 뒤쪽올림 패턴을 동심성으로 수행할 때의 위등세모근의 근활성도는 다른 대각선 운동들에 비해서 유의하게 높았다( $p<0.05$ ). 아래등세모근의 근활성도는 동심성구간에서 굽힘-벌림-바깥돌림 형태의 대각선 운동이 다른 운동에 비해서 유의하게 높았다( $p<0.05$ ). 앞톱니근과 앞어깨세모근, 그리고 아래가시근의 동심성 구간에서의 근활성도는 굽힘-벌림-바깥돌림과 굽힘-모음-바깥돌림의 대각선 형태의 운동이 어깨뼈의 대각선 형태의 운동보다 유의하게 높았다( $p<0.05$ ).

#### 2. 편심성 구간에서의 대각선 운동 종류에 따른 근활성도의 변화

아래등세모근을 제외한 위등세모근, 앞톱니근, 앞어깨세모근, 아래가시근의 근활성도는 수축구간에 따라 유의한 차이를 나타내었으며, 동심성 구간에서의 근활성도가 편심성 구간에서의 값보다 높게 나타났다( $p<0.05$ ). 편심성 구간에서의 아래등세모근의 근활성도는 굽힘-모음-바깥돌림 형태의 대각선 운동이 다른 운동에 비해서 유의하게 낮게 나타났다( $p<0.05$ ). 굽힘-벌림-바깥돌림 형태의 운동이 편심성 구간에서 앞톱니근과 앞어깨세모근의 근활성도를 다른 운동들보다 유의하게 높게 자극하였다( $p<0.05$ ). 아래가시근의 근활성도는 어깨뼈 패턴의 운동들보다 위팔의 움직임에 포함하는 대각선 운동에서 유의하게 높게 나타났다( $p<0.05$ ).

Table 1. Descriptive statistics for normalized EMG data (%MVIC) during the diagonal pattern of exercises

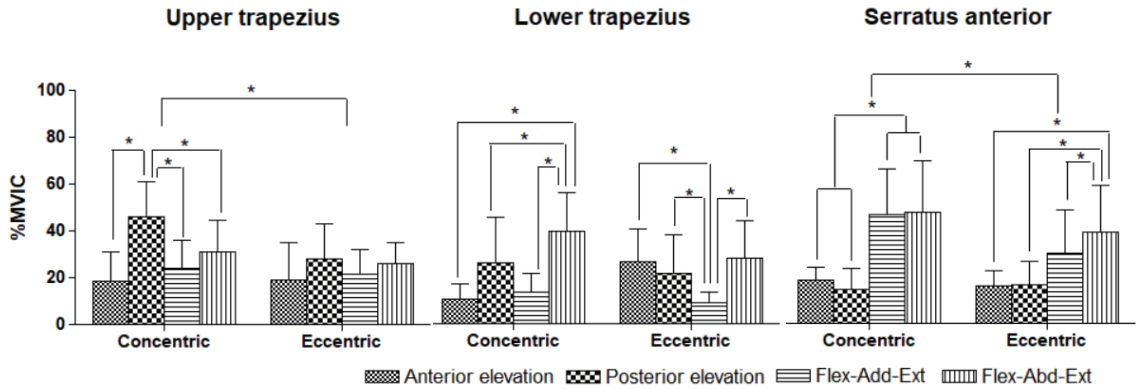
Muscle	Phase	Exercise				Phase	Exercise
		AE	PE	Flex-Add-Ext	Flex-Abd-Ext		
UT	Concentric	18.55±12.55	45.91±15.07	24.15±11.69	31.20±13.58	.00 <sup>b</sup>	.00 <sup>a</sup>
	Eccentric	19.13±16.14	28.13±15.14	21.47±10.40	25.84±9.00		
LT	Concentric	10.45±6.55	26.12±19.51	13.79±7.59	39.66±16.50	.47	.00 <sup>a</sup>
	Eccentric	26.55±14.06	21.59±16.73	9.24±4.33	28.30±15.99		
SA	Concentric	18.41±5.58	14.36±9.00	46.79±19.34	47.40±22.23	.00 <sup>b</sup>	.00 <sup>a</sup>
	Eccentric	16.00±6.57	16.48±10.15	30.03±18.61	39.03±19.84		
AD	Concentric	5.26±3.52	7.01±5.12	34.87±14.98	42.77±15.86	.00 <sup>b</sup>	.00 <sup>a</sup>
	Eccentric	5.18±2.52	8.34±4.32	20.85±6.79	35.97±11.55		
IS	Concentric	15.31±10.21	12.80±9.17	38.01±13.82	33.90±11.88	.00 <sup>b</sup>	.00 <sup>a</sup>
	Eccentric	12.86±9.16	9.57±9.13	27.25±10.33	23.86±13.20		

<sup>a</sup> : significant difference in factor of the exercise ( $p < 0.05$ ).

<sup>b</sup> : significant difference in factor of the phase ( $p < 0.05$ ).

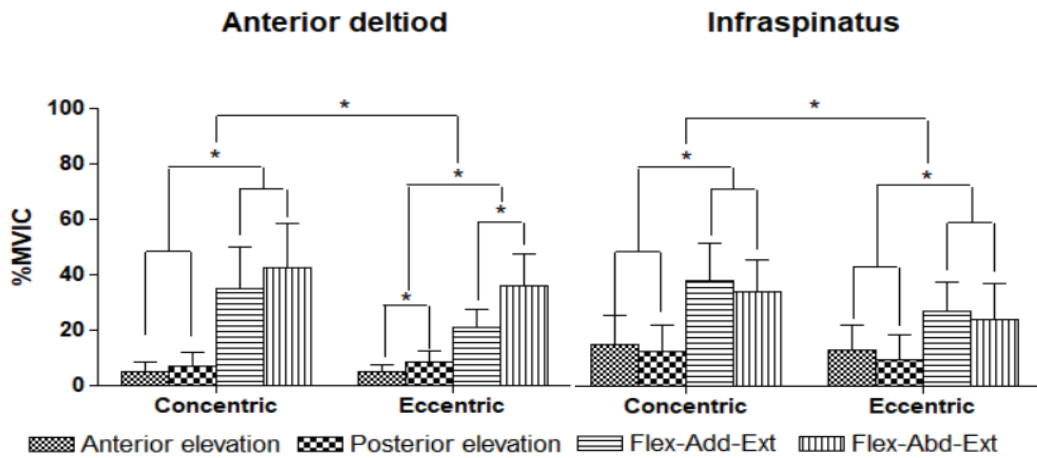
UT: Upper trapezius, LT: Lower trapezius, SA: Serratus anterior, AD: Anterior deltoid, IS: Infraspinatus

AE: Anterior elevation, PE: Posterior elevation, Flex-Add-Ext: Flexion-Adduction-External rotation, Flex-Abd-Ext: Flexion-Abduction-External rotation



\* Significant difference among exercise conditions ( $p < 0.05$ )

Fig. 1. The normalized EMG data (%MVIC) of the UT, LT, and SA during the diagonal exercise variation.



\* Significant difference among exercise conditions ( $p < 0.05$ )

Fig. 2. The normalized EMG data (%MVIC) of the AD and SA during the diagonal exercise variation.

#### IV. 고찰

본 연구는 대각선 운동패턴의 차이가 어깨복합체 근육의 활성도에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고, 동심성과 편심성 구간에 따라 활성도에 어떠한 변화가 발생하는지를 알아보기 위해 진행되었다. 본 연구의 결과로써, 정량화 근전도 값은 아래등세모근을 제외한 모든 근육에서 동심성 구간의 근활성도가 편심

성 구간보다 유의하게 높게 나타났다. 이는 기존의 근전도 연구결과와 유사하다고 할 수 있다. Rodrigues 등(2005)은 Lateral raise와 유사한 Flying 운동 동안에 상지의 근육활성도를 비교하였으며, 편심성 구간의 낮은 근활성도를 보고한 바 있다. 반면에 본 연구에서 아래등세모근은 어깨뼈 앞쪽 올림 패턴의 운동에서 오히려 편심성 구간의 활성도가 동심성 구간보다 15% 이상 높게 나타난 결과를 보였다. Doma 등(2013)은

Pull down 운동을 수행하는데 있어서 동심성 구간과 편심성 구간에 따라 크게 활성화되는 근육이 달라질 수 있음을 보고한 바가 있는데(동심성 구간: 위팔두갈레근, 넓은등근 > 큰가슴근 > 위팔세갈레근; 편심성 구간: 넓은등근 > 큰가슴근 > 위팔세갈레근 > 위팔두갈레근), 현 연구의 결과 또한 운동형태에 따라서는 편심성 구간에서 특정 근육의 활성화도 높아질 수 있음을 나타낸다.

어깨뼈의 대각선 운동패턴의 경우 뒤쪽 올림 패턴의 동심성 운동이 위등세모근의 활성화에 있어 효과적이었다. 비록, 낮은 위등세모근의 활성화와 함께 높은 아래등세모근, 높은 앞톱니근의 활성을 강조하는 어깨뼈 주변 근육의 선택적 활성화 관점에서는 뒤쪽 올림 패턴의 근활성화 결과가 부정적으로 해석할 여지가 있지만(Ludewig et al., 2004; Struyf et al., 2014), 어깨뼈 아래쪽 돌림 증후군을 가지고 있는 클라이언트에게 있어서는 뒤쪽 올림 패턴의 운동이 좋은 운동 옵션이 될 수 있을 것이다(Park & Park., 2019). 어깨뼈 앞쪽 올림 패턴의 동심성 편심성 운동은 아래등세모근의 편심성 구간을 제외하고 모든 근육의 각 운동구간에서 평균적으로 20% 이하의 근활성도를 보였으며, 뒤쪽 올림패턴의 운동 또한 위, 아래등세모근을 제외하고는 20%이하의 낮은 근활성도를 보였다. 이는 상지의 정량화 근전도 값을 기준으로 근력강화 프로그램의 효과를 구분한 고전적 연구에 따르면 약한 근력강화 효과를 나타낸다고 볼 수 있다(DiGiovine et al., 1992). 하지만, 이러한 결과는 두가지 측면을 고려할 필요가 있다. 첫째로, 오목위팔관절의 대각선 패턴 운동이 운동범위증가에 따라 저항팔이 늘어나면서 부하가 더욱 커지는 것에 비해 어깨뼈 패턴의 대각선 운동은 그렇지 못한점을 들 수 있다. 둘째로, 어깨뼈 움직임에 대한 조절 문제를 들 수 있다. 최근 연구는 어깨뼈의 정위를 강조하고 있으며, 정확한 움직임에 대한 피드백(어깨뼈 뒤쪽 경사 및 바깥돌림)에 따라서 운동효과가 달라질 수 있음을 보고하였다(Staker et al., 2022). 본 연구에서 운동수행 중에 피드백을 제공하지 못한 점, 그리고 임상문헌에서 제시하는 어깨뼈 대각선 패

턴의 운동은 옆으로 누운자세에서 치료사의 손의 접촉과 저항을 통해서 방향성이 주어지면서 이루어지는 점을 고려할 때(Adler et al., 2008), 본 연구의 결과만으로 운동의 효과를 단정하기에는 불확실한 면이 있다.

오목위팔관절의 대각선 운동들은 앞톱니근, 앞어깨세모근, 가시아래근 자극에 있어서 어깨뼈 대각선 패턴의 운동들보다 유의하게 높은 활성화도 값을 나타내었다. 보다 세부적으로 분석하게 되면, 앞어깨세모근과 가시아래근 자극에 있어서 굽힘-모음-바깥돌림 패턴의 운동과 굽힘-벌림-바깥돌림 패턴 운동 간에 차이가 존재함을 알 수 있다. 최근의 연구에 따르면, 돌림띠근 손상에 대한 재활방향은 돌림띠근의 부하를 주는 접근법과 돌림띠근의 부하를 줄이는 접근법으로 구분할 수 있다(Cools et al., 2020; Ribeiro et al., 2020). 굽힘-모음-바깥돌림의 근활성도값은 구간에 상관없이 가시아래근의 활성화도가 앞어깨세모근보다 높았으며, 굽힘-벌림-바깥돌림의 근활성도값은 구간에 상관없이 앞어깨세모근의 활성화가 가시아래근의 활성화보다 높게 나타난다. 두가지 오목위팔관절의 대각선 패턴을 돌림띠근 부하를 주기 위한, 혹은 줄이기 위한 접근법으로 달리 적용할 수 있다.

현 연구에는 몇 가지 제한점이 존재한다. 첫째로, 등장성 운동을 측정한 연구임에도 불구하고 운동형상학적 자료 수집을 통한 운동 통제가 배제되었다는 점이다. 이는 근전도 자료의 표준편차를 크게 만드는 요인으로 작용한 것으로 보이며 특히 어깨뼈 대각선 운동에서 두드러지게 나타났다. 둘째로, 고유수용성 신경근 촉진법의 기본절차 중 패턴만을 현 연구에서 알아봤고 그 외의 요소들 시각, 원위부 움직임 등이 제외되었기 때문에 현 연구만으로 고유수용성 신경근 촉진법의 모든 기본절차와 테크닉을 결합한 운동효과를 반영하기 어렵다는 점을 들 수 있다.

## V. 결론

현 연구는 대각선 상지 패턴의 운동 형태에 따라



어깨복합체 근육 선택적 강화에 기여할 수 있으며, 운동을 대상자에 따라 적절히 제공하는 것이 필요하다는 것을 제시하는 바이다. 또한 동심성 수축 형태의 대각선 운동이 편심성 수축형태의 운동보다 전반적인 근동원에 있어서 유리한 경향을 보이지만, 특정 대각선 패턴에서는 그 효과가 달리 나타남을 제시하는 바이다.

### Acknowledgments

This research was supported by the Kaya University.

### References

- Adler SS, Beckers D, Buck M. *PNF in practice: An illustrated guide*. 3rd ed. Heidelberg, Germany: Springer Medizin Verlag; 2008.
- Andersen LL, Andersen CH, Mortensen OS, et al. Muscle activation and perceived loading during rehabilitation exercises: comparison of dumbbells and elastic resistance. *Physical Therapy*. 2010;90(4):538-549.
- Coratella G, Tomatore G, Longo S, et al. An Electromyographic Analysis of Lateral Raise Variations and Frontal Raise in Competitive Bodybuilders. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(17):6015.
- Cram JR, Kasman GS, Holtz J. *Introduction to surface electromyography*. 1st ed. Maryland, USA: Aspen; 1998.
- Cools AM, Tongel AV, Berckmans K, et al. Electromyographic analysis of selected shoulder muscles during a series of exercises commonly used in patients with symptomatic degenerative rotator cuff tears. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 2020;29(10):361-373.
- DiGiovine NM, Jobe FW, Pink M, et al. An electromyographic analysis of the upper extremity in pitching. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 1992;1(1):15-25.
- Doma K, Deakin GB, Ness KF. Kinematic and electromyographic comparisons between chin-ups and lat-pull down exercises. *Sports Biomechanics*. 2013;12(3):302-313.
- Ebaugh DD, McClure PW, Karduna AR. Effects of shoulder muscle fatigue caused by repetitive overhead activities on scapulothoracic and glenohumeral kinematics. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2006;16(3):224-235.
- Ekstrom RA, Donatelli RA, Soderberg GL. Surface electromyographic analysis of exercises for the trapezius and serratus anterior muscles. *Journal of Orthopaedic Sports and Physical Therapy*. 2003;33(5):247-58.
- Fukunaga T, Orishimo KF, McHugh MP. Electromyographic analysis of select eccentric-focused rotator cuff exercises. *Physiotherapy Theory and Practice*. 2022;38(13):2554-2562.
- Kim JJ, Ann SY, Park SY. Comparison of diagonal shoulder exercises with and without visual trace. *International Journal of Athletic Therapy and Training*. 2014;20(1):52-56.
- Kendall FP, McCreary EK, Provance PG, et al. *Muscles: Testing and Function, with Posture and Pain*. 5th ed. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins; 2005.
- 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.
- Park JH, Chung SW, Lee SJ, et al. Evaluation of the electromyographic amplitude-to-work ratio in the infraspinatus muscle during external shoulder rotation exercises: A comparison of concentric isotonic and isokinetic exercises. *Orthopaedic Journal of Sports*

- Medicine*. 2020;8(7):1-6.
- Park SY, Park DJ. Comparison of muscular activities between subjects with and without scapular downward rotation impairment during diagonal pattern of exercises. *Journal of Bodywork and Movement Therapy*. 2019;23(1):59-64.
- 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.
- Ortega-Castillo M, Medina-Porqueres I. Effectiveness of the eccentric exercise therapy in physically active adults with symptomatic shoulder impingement or lateral epicondylar tendinopathy: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2016; 19(6):438-453.
- Ribeiro LP, Cools A, Camargo PR. Rotator cuff unloading versus loading exercise program in the conservative treatment of patients with rotator cuff tear: protocol of a randomised controlled trial. *BMJ Open*. 2020;10(12):040820.
- Rodrigues JA, Büll ML, Dias GA, et al. Electromyographic validation of the pectoralis major and deltoideus anterior muscles in inverted "flying" exercises with loads. *Electromyography and Clinical Neurophysiology*. 2005;45(7-8):425-432.
- Staker JL, Evans AJ, Jacobs LE, et al. The effect of tactile and verbal guidance during scapulothoracic exercises: An EMG and kinematic investigation. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2022;62:102334.
- Struyf F, Cagnie B, Cools A, Baert I, et al. Scapulothoracic muscle activity and recruitment timing in patients with shoulder impingement symptoms and glenohumeral instability. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2014;24(2):277-284.
- Tucker WS, Armstrong CW, Gribble PA, et al. Scapular muscle activity in overhead athletes with symptoms of secondary shoulder impingement during closed chain exercises. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2010;91(4):550-556.
- Youdas JW, Arend DB, Exstrom JM, et al. Comparison of muscle activation levels during arm abduction in the plane of the scapula vs. proprioceptive neuromuscular facilitation upper extremity patterns. *Journal of Strengthening and Conditioning Research*. 2012; 26(4):1058-1065.