

Original Article

Open Access

## 독립화 비율과 정량화 비율을 사용한 대각선 패턴의 어깨운동 간의 근활성도 비교

이상열 · 박세연<sup>†</sup>

경성대학교 물리치료학과, <sup>1</sup>위덕대학교 물리치료학과

### Comparison of Muscle Activities between the Diagonal Pattern of Shoulder Exercises Using the %Normalization and %Isolation Method

Sang-Yeol Lee · Se-Yeon Park<sup>†</sup>

*Department of Physical Therapy, Kyungsung University*

*<sup>1</sup>Department of Physical Therapy, Uiduk University*

Received: February 25, 2023 / Revised: March 24, 2023 / Accepted: March 24, 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 present study aims to investigate the effects of a diagonal exercise pattern on selective activation of the upper extremity muscles using both normalization and isolation methods.

**Methods:** In total, 17 asymptomatic subjects participated in this study. During the two diagonal patterns of exercise (diagonals 1 and 2), muscular activities of the upper trapezius (UT), lower trapezius (LT), serratus anterior (SA), anterior deltoid (AD), and infraspinatus (IS) were measured. The collected data were analyzed in two ways, according to the dominance of muscle activities (%Isolation) and according to normalized activities (%MVIC).

**Results:** There were significant differences in LT, SA, AD, and IS between %MVIC and %Isolation ( $p < 0.05$ ), and the diagonal 1 pattern of exercise showed significantly more LT activities compared with the diagonal 2 pattern ( $p < 0.05$ ). Further, except for LT, there were no significant differences in muscle activities between the diagonal 1 and 2 exercises.

**Conclusion:** The present study suggests that a diagonal pattern of exercise is advantageous for strengthening shoulder muscles, but caution is needed when applying to patients requiring selective strengthening. Regarding both the concentric and eccentric phases of exercise, there was no significant difference in muscular activation, except in LT, between the two diagonal patterns of exercises.

**Key Words:** EMG, PNF, Phase, %Isolation

<sup>†</sup>Corresponding Author : Se-Yeon Park (arclain@naver.com)

## I. 서론

근육의 활성화도는 운동의 효과를 비롯하여 중재 및 집단의 비교를 위한 측정척도로 사용되어왔다(Burden, 2010; Hug, 2011). 특히 물리치료분야, 스포츠분야, 운동학 분야의 연구에 많이 사용되는 표면 근전도는 비침습적인 장비의 특성상, 인체 움직임의 정적이거나 동적인 움직임에서 나타나는 근육의 활성화도를 수량화시킬 수 있는 이점을 가진다. 하지만 이 근전도 신호를 수집하는 과정에서, 해부·생리적 개체의 특수성이 영향을 미칠 수 있으며, 기존 연구에서는 이러한 개체간 차이로 발생하는 자료 값의 높은 편차를 근전도 신호의 정량화, 표준화하는 방법을 통해 주로 해결해왔다(Burden, 2010; De Luca, 1997). 가장 많이 사용하는 정량화 방법은 최대 수의적 등척성 근수축(MVIC) 시의 근활성도를 활용하는 방안으로, 측정 근육의 MVIC 동안의 근활성도를 따로 측정하여 이를 분모로 하고 연구대상이 되는 동작에서의 근활성도를 분자로 하여 백분율로 나타내는 것이다(Hug, 2011). 하지만 이러한 정량화 방법은 선택적인 활성화 혹은 상대적인 활성화를 표현하지 못하는 한계점이 있었다.

어깨복합체 주변 근육을 자극하는 운동은 특히 상대적인 근육의 활성화 및 선택적인 근육강화가 중요하다고 알려져 왔다(Choi & Song, 2021; Larsen et al., 2013). 최근 20여년 간, 여러 연구들은 이러한 부분을 나타내기 위하여 위등세모근과 아래등세모근 사이의 비율(UT/LT), 위등세모근과 앞톱니근 사이의 비율(UT/SA), 혹은 동일 근육군들 사이의 상대적인 비율을 제시하는 독립화 비율과 같은 측정척도를 제시하여 어깨복합체에 작용하는 운동의 효과를 증명하였다(Arlotta et al., 2011; Ludewig et al., 2004; Maenhout et al., 2010; Park & Park, 2019; Park & Yoo, 2015). 비록 개별적인 해부학적 단면에서 이루어지는 운동, 그로 인한 하나의 관절에 작용하는 근육의 상대적 근활성도를 조사한 연구는 적지 않았지만, 복합적인 해부학적 면에서 이루어지는 운동과 그에 작용하는 근육의 선택적 활성화를 조사한 연구는 부족한 실정이다. 고유수용성 신경근 촉진법(Proprioceptive Neuromuscular

Facilitation, PNF)의 대각선 패턴의 운동은 스포츠 및 재활영역에서 여러 근육을 동시에 강화하기 위해 사용되는 대표적인 방법 중 하나이다(Adler et al., 2008; Youdas et al., 2012). 어깨관절의 대각선 패턴의 운동은 크게 D1(어깨관절 굽힘, 모음, 바깥돌림 - 어깨관절 펴, 벌림, 안쪽돌림)과 D2(어깨관절 굽힘, 벌림, 바깥돌림 - 어깨관절 펴, 모음, 안쪽돌림) 방향으로 구분된다. 두 가지 방향의 대각선 운동 모두 어깨관절 주변 근육 뿐만 아니라 어깨뼈 주변 근육의 강화에도 효과적이라고 알려져 있다(Adler et al., 2008). Kim 등(2014)은 두 가지 대각선 패턴의 구심성 수축 구간을 비교하여 굽힘-벌림-바깥돌림을 포함하는 어깨관절 운동이 아래등세모근과 앞톱니근 활성화에 효과적이라고 보고한 바가 있으며, Park과 Park (2019)는 UT/LT, UT/SA 비율을 활용하여 대각선 패턴의 어깨관절 운동이 위등세모근의 선택적 활성화에 효과적이라고 보고한 바 있다. 하지만, 우리가 아는 지식한도에서 두 가지 대각선 방향의 운동 전 구간에서 발생하는 근 활성화도를 직접적으로 비교한 연구는 아직 없었으며, 선택적 활성화에 미치는 영향을 조사한 연구 또한 많지 않다.

따라서, 본 연구는 고유수용성 신경근 촉진법의 두 가지 패턴의 대각선 운동이 어깨관절 복합체에 작용하는 근육에 미치는 영향을 두 가지 방법을 사용하여 비교하고자 한다. 하나는 전통적인 정량화 방법을 통해 비교하는 것이고, 다른 하나는 독립화 방법을 통해 상대적인 근활성도를 비교하고자 한다. 추가적으로 두 가지 형태로 수집된 근활성도 값 또한 하나의 요인으로 비교분석 함으로써, 그 차이를 알아보하고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 대상자

본 연구는 건강한 성인 남성 17명을 대상으로 진행하였으며, 대상자들의 일반적 특성은 나이 22.46±1.45 세, 신장 175.83±6.24cm, 몸무게 65.23±6.43kg, 체질량

지수는  $21.10 \pm 2.13 \text{ kg/m}^2$ 이다. 실험 전 대상자들은 실험에 대해 충분히 설명을 듣고 동의를 구하였고, 동의서를 작성하였다. 본 연구에서는 과거 정형외과 적 수술 경험이 있는 자, 어깨통증이 있는 자, 최근 3개월 어깨 관절 운동을 집중적으로 수행한 자, 본 연구의 목적을 이해하지 못하고 참여에 동의하지 않는 자와 같은 조건이 있는 대상자는 제외하였다.

## 2. 측정장비

대상자의 어깨관절 주변 근육들의 근전도 자료를 수집하기 위하여 표면근전도(Noraxon DTS, Noraxon Inc., USA)를 사용하였다. 위등세모근(UT), 아래등세모근(LT), 앞톱니근(SA), 앞어깨세모근(AD), 아래가시근(IS)의 근활성도를 측정하였다. 초당 1000개의 자료를 수집하였으며, 주파수 폭은 10~450Hz로 설정하였다. 자료분석을 위하여 모든 자료는 평균 제곱근(root mean square, RMS) 처리를 하였다.

RMS 처리된 근전도 자료는 정량화된 근전도 값(%MVIC), 그리고 독립화 근전도 값(%Isolation), 두가지 형태로 나타내어 통계분석을 위해 사용하였다(Fig 1). 그림의 독립화 근전도 값의 계산식에서 x는 조사하려는 해당 근육이며, y와 i는 각각의 운동조건과 해당 실시횟수를 나타낸다. 만약 아래등세모근, 앞톱니근, 앞어깨세모근과 아래가시근이 전혀 활성화되지 않는다면, 해당 운동에서 위등세모근의 독립근활성비율은 100%가 된다. %MVIC 값은 각 측정근육의 최대 근활

성도 값을 분모로, 측정동작의 근활성도 값은 분자로 하여 백분율로 나타내었으며(Park & Yoo, 2015), 독립화 근전도 값은 측정동작에서 나타나는 모든 근육의 RMS값의 합산을 분모로, 각 근육의 RMS값을 분자로 백분율로 표시하였다(Arlotta et al., 2011).

## 3. 실험절차

대상자로부터 동의서를 받고, 일반적 특성에 대한 자료수집을 마친 다음, 선임 연구자는 5개의 근전도 전극을 대상자의 오른쪽에 위치한 근육군에 부착하였다. 전극을 부착하기 전 피부의 털은 면도하였으며, 각질을 제거한 다음 알코올 솜을 이용하여 깨끗이 하였다. 이후 전극을 대상 근육에 근 섬유 방향과 평행하도록 부착하였으며, 위치는 임상문헌을 참조하였다(Cram et al., 1998).

본 연구에서 각 대상자는 두가지 패턴의 스트레이트 대각선(D1, D2) 운동을 우세손으로 수행하였다. D1 동작을 수행하기 위해, 대상자는 선자세의 오른쪽 팔을 내려뜨린 상태에서 반대쪽 귀 방향으로 어깨관절이 굽힘, 모음, 가쪽돌림 될 수 있는 형태로 움직였으며, 다시 본래 자세로 돌아올 수 있도록 하였다. D2 동작을 수행하기 위하여, 대상자는 선자세의 오른쪽 팔을 왼쪽 옆구리 앞에 위치시킨 상태에서 오른쪽 귀 방향으로 어깨관절이 굽힘, 벌림, 가쪽돌림 될 수 있는 형태로 움직였으며, 다시 본래 자세로 돌아올 수 있도록 하였다(Adler et al., 2008). 두가지 패턴의

$$\%Isolation = \frac{EMG_{x_{yi}}}{EMG_{UT_{yi}} + EMG_{LT_{yi}} + EMG_{SA_{yi}} + EMG_{AD_{yi}} + EMG_{IS_{yi}}} * 100$$

$$\%MVIC = \frac{EMG_{x_{yi}}}{\max EMG_x} * 100$$

Fig. 1. The formula of the %Isolation and the %MVIC. UT: upper trapezius, LT: Lower trapezius, SA: serratus anterior, AD: Anterior deltoid, IS: Infra spinatus.

운동을 수행하는 동안, 팔꿈관절은 펴하도록 하였으며, 3초간의 동심성 수축을 유도하는 움직임, 그리고 본래 자세로 돌아가기 위한 3초간의 편심성 수축을 유도하는 움직임을 수행하였다. 저항으로 대상자 몸무게를 기준으로 5%에 해당하는 모래주머니를 손목에 적용하였으며(Chen et al., 1999), 각 대상자는 동작을 수행하기 전 5분간의 연습시간이 주어졌으며, 대각선 패턴의 동작과 모래주머니 무게에 익숙해지도록 하였다(Kim et al., 2014). 각 패턴 간 3회씩 실시하였으며, 각각 운동 간에 3분의 휴식시간이 대상자에게 주어졌다.

2가지 패턴의 대각선 운동을 수행한 다음 10분간의 휴식이 주어졌으며, 이후 각 근육의 최대 수의적 등척성 근수축(maximal voluntary isometric contraction, MVIC) 값을 측정하였다. 측정방법은 기존연구를 참조하였으며, 2번의 측정의 평균값을 MVIC로 자료분석에 활용하였다.

#### 4. 통계분석

수집된 자료는 PASW (SPSS; ver.18.0, IBM knowledge center, USA)를 사용하여 통계분석을 실시하였다. 두

가지 대각선 패턴(D1과 D2)를 하나의 요인으로, 그리고 자료분석방법(정량화 근전도 값과 독립화 근전도 값)을 하나의 요인으로 한 이 요인 반복측정 분산분석(Two-way repeated measures of ANOVA)을 사용하였다. 두가지 요인간 상관관계가 발생할 경우에는 각 요인 별 대응표본 t 검정을 사용하였다. 통계학적 유의수준은 0.05로 설정하였다.

### III. 결과

#### 1. 정량화 근전도 값(%MVIC)과 독립화 근전도 값(%Isolation)간의 비교분석

측정치 변화, 정량화된 근전도 값과 독립화된 근전도 값을 요인으로 비교분석한 결과, 위등세모근을 제외하고 모든 근육에서 두가지 측정값 사이에 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ )(Table 1). 아래등세모근, 앞뿔근, 앞어깨세모근, 가시아래근의 정량화된 근전도 값은 모두 독립화된 근전도값보다 유의하게 높았다( $p < 0.05$ )(Fig. 2).

Table 1. The average and standard deviation (SD) of %MVIC and %Isolation values during diagonal exercises

Variables	Pattern	Measurement		p-value	
		%MVIC	%Isolation	Measurement	Pattern
Upper trapezius	D1	28.53±10.44	28.99±11.20	.71	.92
	D2	28.11±13.67	29.82±13.27		
Lower trapezius	D1	30.29±17.84	12.41±5.09	.00*	0.01*
	D2	16.49±8.87	7.66±3.39		
Serratus anterior	D1	41.04±20.77	18.67±5.32	.00*	.59
	D2	38.33±18.31	19.66±7.95		
Anterior deltoid	D1	34.22±13.17	27.22±7.4	.04*	0.89
	D2	33.71±18.09	28.66±9.45		
Infraspinatus	D1	31.57±12.74	12.70±6.17	.00*	.70
	D2	31.92±10.33	14.21±6.12		

\* Significant difference in factor of measurement and pattern

D1: Diagonal 1 pattern (Flexion, Adduction, External rotation – Extension, Abduction, Internal rotation), D2: Diagonal 2 pattern (Flexion, Abduction, External rotation – Extension, Adduction, Internal rotation)

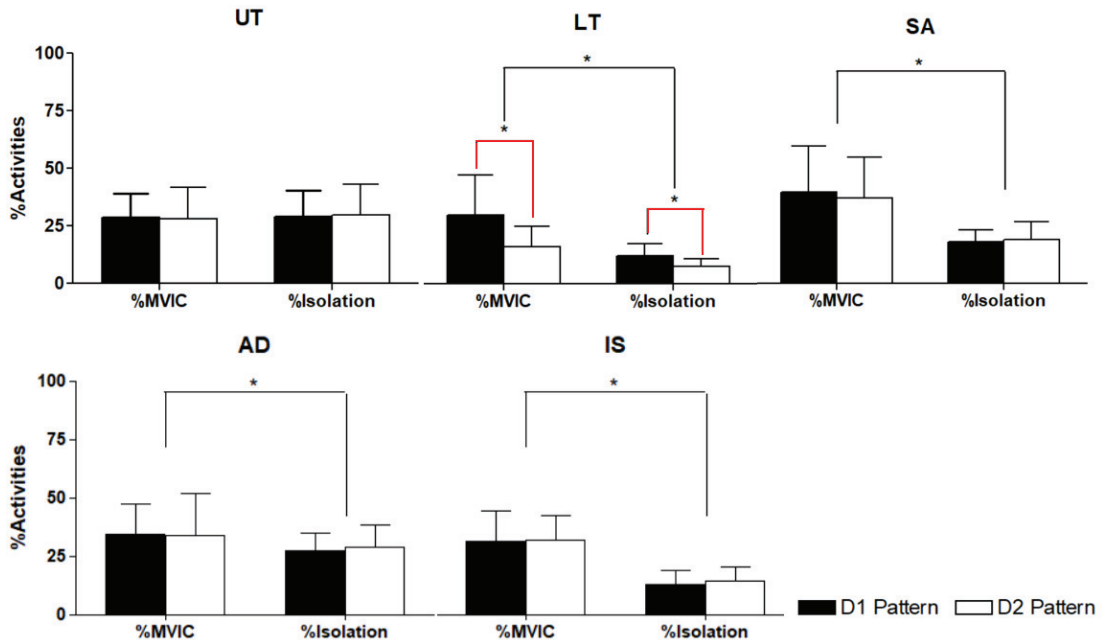


Fig. 2. Comparison of muscle activities of UT, LT, SA, AD, IS during the diagonal exercise conditions.

\* Significant difference between conditions.

## 2. 대각선 운동 형태에 따른 근전도 값의 변화

대각선 1 패턴의 운동에서는 대각선 2 패턴의 운동보다 유의하게 높은 아래등세모근의 근활성화 값을 보였으며, 이는 정량화 근전도 값 뿐만 아니라 독립화 근전도 값 둘 모두에서 나타났다( $p < 0.05$ )(Table 1). 하지만 아래등세모근을 제외한 다른 근육에서는 대각선 패턴에 따른 근전도 값의 통계적 유의한 차이는 없었다( $p > 0.05$ ).

## IV. 고 찰

본 연구는 고유수용성 신경근 촉진법(PNF) 기본절차 중 하나인 패턴의 차이가 어깨복합체 근육의 활성화도에 어떠한 영향을 미치는지, 그리고 활성도를 분석하는 방법에 따라 어떠한 차이가 발생하는지를 알아보기 위해 진행되었다. 현 연구에서 사용된 측정변수

중 하나인 독립화 근전도는 하나의 근육군내의 상대적인 근활성을 알아보기 위해서 고안된 근전도 변수이다. Arlotta 등(2011)의 연구에서는 등세모근의 윗섬유, 중간섬유, 아래섬유를 선택적으로 자극할 수 있는 운동을 알아보기 위해 사용되었으며, 넓은등근의 여러 분지들의 상대적 근활성을 알아보기 위해 기존 연구에서 사용된 바 있는 측정변수이다(Park & Yoo, 2014). 보다 최근에는 하나의 근육군 내의 상대적 근활성 뿐만 아니라 운동간 비교를 위해서 어떤 운동이 보다 더 해당 근육을 자극할 수 있는 알아보기 위해 사용되기도 하였다(Park & Yoo, 2015). 또 다른 측정변수인 정량화 근전도 값 또한 기존 연구에서 많이, 그리고 오랜 기간동안 사용되는 근전도 변수로써, 기존 연구들과의 데이터 비교 및 대상자 간의 해부학적 차이를 상쇄하기 위해 사용되었다.

현 연구의 결과로써, 정량화 근전도 값은 D2패턴의 아래등세모근을 제외한 모든 근육에서 30% 전후의 평균 정량화 근전도 값을 보였다. 이는 대각선 패턴의

운동이 그 방향과 상관없이 현재 측정하고 있는 모든 근육을 효과적으로 자극하여 강화효과를 얻을 수 있다는 것을 제시한다. 기존의 한 고전적인 정량화 근전도 연구는 30~50% 수준의 정량화 근전도 값을 보이는 운동은 중등도의 강화효과를 얻을 수 있다고 보고한 바 있다(DiGiovine et al., 1992). 하지만 현 논문에서 나타난 독립화 근전도 값은 또 다른 해석을 가능하게 한다. 위등세모근을 제외한 측정근육에서 독립화 근전도 값은 정량화 근전도 값보다 유의하게 낮았으며, 특히 아래 등세모근, 앞뿔니근, 가시아래근의 경우 15% 내외의 독립화 근전도 값을 보였다. 이는 상대적으로 높은 위등세모근, 앞 어깨세모근에 비해서 이들 세계의 근육이 대각선 패턴의 운동을 수행하는 동안 자극되는 강도가 부족하다고 해석할 수 있다. Struyf 등(2014)은 어깨관절의 끼임증후군 완화를 위해서 위등세모근의 자극을 최소화하고, 아래등세모근, 앞뿔니근의 자극을 유도할 수 있는 운동이 요구된다고 제시하며, Park 등(2020)은 재활운동에서의 가시아래근의 역할과 강화를 강조하였다.

비록 본 연구의 독립화 근전도 결과가 대각선 패턴의 운동을 부정적으로 해석할 여지가 있지만, 이는 운동의 적용대상과 시기에 따라 부적절할 수 있음을 의미하는 것이며, 대각선 운동 자체를 부정적으로 해석하는 것이 아니다. 최근의 연구는 퇴행성 돌림띠근 손상에 대한 재활방향을 돌림띠근의 부하를 주는 접근법>Loading RC)과 돌림띠근 부하를 줄이는 접근법(Unloading RC)으로 구분하는데(Cools et al., 2020; Ribeiro et al., 2020), 독립화 근전도 결과는 대각선 패턴의 운동이 가시아래근의 근활성은 최소화하면서 어깨세모근을 자극하는, 상대적으로 돌림띠근 부하를 줄이는 접근법으로 사용될 수 있음을 제시한다.

본 연구는 고유수용성 신경근 촉진법(PNF)의 2가지 상지패턴을 비교분석하였다. 측정변수의 차이(정량화 근전도와 독립화 근전도)에 상관없이 D1과 D2 패턴 모두 유사한 양상을 나타냈으며, 아래등세모근의 근전도 값에서만 D1 패턴이 D2패턴에 비해서 유의미하게 높은 결과를 보였다. 이러한 결과는 기존 연구

의 결과와는 차이가 있다. Kim 등(2014)은 D2패턴의 운동이 D1패턴의 운동보다 유의하게 높게 아래등세모근과 어깨세모근을 자극할 수 있다고 보고하였다. 이러한 기존연구와 현 연구의 결과 차이는 근전도 수집기간의 차이로 설명될 수 있다. 기존 연구는 D1과 D2의 동심성 수축구간만을 비교분석하였으며, 현 연구는 동심성 뿐만 아니라 편심성 구간 또한 포함하여 비교분석이 진행되었다. 최근의 연구들이 재활에서의 편심성 운동을 강조한다는 점과 동심성과 편심성 운동이 같이 이루어지기 쉽다는 것을 고려하여(Dejaco et al., 2017; Kim et al., 2021), 전 구간에서의 근활성도를 분석구간으로 설정하였으며, 이러한 분석구간의 차이가 기존연구와는 다른 결과를 보였다.

현 연구에는 몇 가지 제한점이 존재한다. 첫째로, 현 연구에서 측정된 근육 중에서 주요 표면근육 중 하나인 가슴근이 빠져 있다는 점이다. 이는 독립화 근전도 비율을 나타낼 때, 근육의 6개 이상이 되면 평균적으로 10% 내외의 독립화 근전도 비율이 나타나 바닥효과가 나타날 수 있기 때문에 측정변수에서 제외되었다. 둘째로, 대각선 패턴의 운동은 여러면에서 이루어지는 운동이기 때문에 동작의 정확성이 주요한데 이를 통제하기 위한 운동형상학적 측정이 이루어지지 못한 점이다. 비록 반복측정에 의한 비교였지만, 대상자의 각 운동패턴에 대한 수행각도의 변화가 측정변수인 근전도에 영향을 미칠 수 있기에 추후 연구에서는 운동형상학적 변인에 대한 통제 또는 조절이 요구된다. 마지막으로 본 연구 수행 시에 남성을 대상으로 연구를 진행하였기 때문에 전체 인구에 대한 일반화는 어렵다는 점을 들 수 있을 것이다.

## V. 결론

현 연구는 대각선 상지 패턴의 운동이 전반적인 어깨복합체 근육의 강화에 기여할 수 있지만, 선택적인 강화가 요구되는 대상자에게는 주의할 필요가 있음을 제시한다. 더불어 동심성, 편심성 수축을 포함하

는 대각선 상지 패턴 간, 어깨 근육군의 근활성화의 차이는 아래등세모근을 제외하면 크지 않다는 점 또한 제시하는 바이다.

## References

- Adler SS, Beckers D, Buck M. PNF in practice: An illustrated guide. 3rd ed. Heidelberg, Germany: Springer Medizin Verlag; 2008.
- Arlotta M, Lovasco G, McLean L. Selective recruitment of the lower fibers of the trapezius muscle. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2011;21(3): 403-10.
- Burden A. How should we normalize electromyograms obtained from healthy participants? What we have learned from over 25 years of research. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2010;20(6): 1023-1035.
- Chen SK, Simonian PT, Wickiewicz TL, et al. Radiographic evaluation of glenohumeral kinematics: a muscle fatigue model. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*. 1999;8(1):49-52.
- Choi JJ, Song CH. Cueing Method That Increases Selective Muscle Activation of the Serratus Anterior in Healthy Adults. *PNF and Movement*. 2021;19(2):269-278.
- 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.
- Dejaco B, Habets B, van Loon C, et al. Eccentric versus conventional exercise therapy in patients with rotator cuff tendinopathy: a randomized, single blinded, clinical trial. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2017;25(7):2051-2059.
- De Luca C. The use of surface electromyography in biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics* 1997;13:135-163.
- Hug F. Can muscle coordination be precisely studied by surface electromyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2011;21(1):1-12.
- 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.
- Kim WM, Seo YG, Park YI, et al. Effects of different types of contraction exercises on shoulder function and muscle strength in patients with adhesive capsulitis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(24):13078.
- Larsen CM, Sogaard K, Chreiteh SS, et al. Neuromuscular control of scapula muscles during a voluntary task in subjects with subacromial impingement syndrome. A case-control study. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2013;23(5): 1158-1165.
- 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.
- 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.
- 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. Differential activation of parts of the latissimus dorsi with various isometric shoulder exercises. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2014;24(2):253-257.
- 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.
- 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.
- Struyf F, Cagnie B, Cools A, 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.
- 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.