

몸통 굽힘이 어깨위팔리듬과 어깨뼈의 움직임 및 근육 활성화에 미치는 영향

박승규¹ · 한송이² · 강정일¹ · 이준희¹ · 양대중¹

¹대불대학교 보건대학 물리치료학과 · ²대불대학교 대학원 물리치료학과

Effect of Trunk Flexion on Muscle Activity, Motion of Scapular and Scapulohumeral Rhythm

Seung-Kyu Park¹ · Song-E Han² · Jeong-Il Kang¹ · Joon-Hee Lee¹ · Dae-Jung Yang¹

¹Department of Physical Therapy, College of Health, Daebul University, Yeongam, Korea

²Department of Physical Therapy, Graduate School of Daebul University, Yeongam, Korea

Received 31 October 2010; Received in revised form 6 November 2010; Accepted 30 December 2010

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the effect of trunk posture on muscle activity and motion of scapular and scapulohumeral rhythm. Thirty-one healthy subjects performed right-arm abduction and adduction along the frontal plane while standing in both upright and flexed posture of trunk. Scapular upward rotation, anterior tilting and internal rotation were recorded using a motion analysis system and muscle activity of upper trapezius, lower trapezius and serratus anterior were recorded using surface electromyography during abduction and adduction in both trunk postures. then, scapulohumeral rhythm was calculated. Scapulohumeral rhythm and scapular posterior tilting in flexed posture was significantly decreased than in upright posture. Also, muscle activity of lower trapezius in flexed posture was significantly increased and serratus anterior was significantly decreased than in general posture. The result of this study revealed that flexed posture of trunk altered the muscle activity and kinematic of scapular. Measurement of trunk posture should be included the evaluation of dysfunction and disorder of shoulder girdle since rehabilitation of trunk posture is important to restore of upper limbs function.

Keywords : Trunk Flexion, Muscle Activity, Scapular Kinematic, Scapulohumeral Rhythm

I. 서론

정상적인 어깨뼈 기능은 던지기 운동선수에게 필수적이다. 첫째, 어깨관절 내에 스트레스를 감소시키고 오목위팔관절조직의 안정적인 기반을 제공한다. 둘째, 던지기 움직임 동안 어깨뼈의 후인(retraction)과 전인(protraction)이 포함된다. 셋째, 팔 벌림과 함께 봉우리(acromion) 올림의 역할을 수행한다. 마지막으로 과사용으로 인한 손상을 감소시키고 던지기를 효과적이고 수행하도록 오목위팔 근육의 최적의 길이-장력 관계를 유지시

킨다(Altchek & Levinson, 2000).

척추 비정상정렬, 특히 등뼈의 비정상정렬인 후만(kyphosis)은 운동 후 배(abdomen)와 등(back)의 결림(stitch pain)을 유발하는 원인이며(Morton & Callister, 2009), 등뼈 굽힘으로 인한 어깨뼈의 생체역학적 변화는 근육 활성화에 영향을 준다(Weon et al., 2009).

어깨등 움직임과 오목위팔뼈 움직임 간의 조화를 어깨위팔리듬(scapulohumeral rhythm)이라 하며, 이는 전체 어깨띠 가동 범위를 위해 중요하다(Fayad et al., 2008). Inman et al.(1944)이 건강한 대상자가 어깨관절 벌림과 굽힘 시 전체 가동범위동안 오목위팔관절의 올림과 어깨뼈 위쪽돌림이 2:1로 일정하게 나타난다고 처음 보고한 것과는 달리 어깨위팔리듬은 2.3:1에서 4.3:1까지 다양하게 나타난다(Braman, Enge, LaPrade & Ludewig, 2009; Yano et al., 2010; Yoshizaki et al., 2009). 어깨위팔리듬의

본 논문은 2011년도 대불대학교 교내 연구지원에 의하여 쓰여진 것임.

Corresponding Author : Sung-E Han

Department of Physical Therapy, Graduate School of Daebul University,
72 Sanho-ri, Samho-eup, Yeongam, Jeollanam-do, Korea

Tel : +82-61-260-3155 / Fax : +82-61-260-3007

E-mail : padihse@hanmail.net

변화는 어깨관절 찢힘과 오십견이 있는 피험자에게서 나타나며, 이는 어깨뼈의 길잡이(orientation) 및 움직임(motion)의 변화와 연관된다(Braman et al, 2009).

던지기동안 어깨뼈의 비정상인 위치와 동적 기능부전(dynamic dysfunction)은 특정 관절순과 돌림근띠 병리와 같은 어깨관절 질병의 주요 원인이며(Burkhart, Morgan & Kibler, 2003), 어깨관절 기능부전과 질병의 평가를 위해 어깨뼈 움직임 변화에 대한 관찰은 필수적이다(Fayad et al., 2008; Lin et al., 2006; Ludewig & Cook, 2000; Yang, Lu, Chou, Chang & Lin, 2009). 3차원적 어깨뼈 돌림은 위쪽/아래쪽돌림(upward/downward rotation), 앞쪽/뒤쪽(anterior/posterior tilting)기울임 및 안쪽/바깥쪽돌림(internal/external rotation)으로 정의한다(Barnett, Duncan & Johnson, 1999; Karduna, McClure, Michener & Sennett, 2001).

상지 근육의 활성화는 근육의 길이가 정상범위에 있을 때, 즉 바른 몸통 자세에서 최적으로 나타나며, 상지 운동은 바른 자세에서 실시해야 이차적 통증 없이 목표로 하는 근육의 활성을 야기 할 수 있다. 또한 어깨뼈 근력 약화와 불균형, 근육 단축 또는 신경근육 협응의 부조화로 인한 이차적인 어깨뼈 운동 이상(dyskinesia)은 팔이 던지기 수단과 같은 굉장한 운동학적 에너지의 이동을 최적으로 활용할 수 없는 위치에 놓이게 한다(Wilk, Meister, & Andrews, 2002). 위등세모근(upper trapezius)과 아래등세모근(lower trapezius) 및 앞톱니근(serratus anterior)은 팔 움직임 동안 어깨뼈 움직임을 만드는데 중요한 역할을 한다(Ebaugh, McClure & Karduna, 2005). 앞톱니근의 아래섬유는 어깨뼈의 위쪽돌림을 위한 일차적인 근육이며(Hamada, Igarashi, Akita & Mochizuki, 2008), 어깨뼈의 위쪽/아래쪽돌림과 앞쪽/뒤쪽기울임을 조절하고 생산하는 역할을 한다(Thigpen et al., 2010). 던지기 동안 아래등세모근은 어깨뼈 위쪽 돌림을 유지하기 위해 중요한 역할을 한다(Nissen et al., 2007). 위등세모근과 아래등세모근 및 앞톱니근은 어깨뼈를 위쪽으로 돌림 시키는 찢힘으로 작용하며(Neumann, 2006), 이들 근육 활성화도의 불균형은 어깨관절 기능부전과 질병이 있는 피험자에게서 관찰된다(Diederichsen et al., 2009; Lin et al., 2005; Lin et al., 2006; Ludewig & Cook, 2000).

던지기에서 가속 동안 몸통과 팔의 관계, 어깨관절의 위치와 회전, 그리고 몸통 위치는 던지기 생체역학을 향상시키는 중요한 부분이다(Wilk et al, 2002). 또한 팔 올림의 연속적인 운동학에 등뼈의 움직임은 중요하다(Crosbie, Kilbreath, Hollmann & York, 2008; Theodoridis & Ruston, 2002). 한쪽 팔 올림동안 위 등뼈는 같은 쪽으로 돌림하고 반대쪽으로 기울어지지만(Crosbie, Kilbreath, Hollmann & York, 2008), 몸통의 곧은 자세보다 굽힘 자세에서 등뼈의 축 돌림은 감소하고, 축 돌림과 찢 움직임인 가쪽 굽힘은 증가하며(Edmondston et al., 2007), 몸통의 굽힘 자세에서 이러한 등뼈 찢 움직임을 변화는 팔의 기능적인 제한과

연관된다(Theodoridis & Ruston, 2002).

최근에 위쪽 몸통 자세와 통증, 어깨띠 운동학 및 근육 활성화도 간의 관계에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 등근 어깨 자세가 있는 대상자는 위등세모근의 과사용과 앞톱니근의 저사용으로 불균형적인 활성화 패턴을 나타내며(Park, Park & Lee, 2010; Thigpen et al., 2010), 팔을 올리는 동안 어깨뼈의 평균 움직임이 변한다(Thigpen et al., 2010). 곧은 자세와 비교하여 구부정한 자세에서 위팔뼈의 정적인 벌림 동안 어깨뼈 움직임의 변화가 관찰되었으나, 근육 생리학적 측정은 이루어 지지 않았다(Kebaetse, McClure & Pratt, 1999).

머리위로 팔을 사용하는 대부분의 스포츠나 일상생활동작을 위해 등뼈와 어깨뼈의 움직임은 중요하다. 선행연구를 통해 몸통 자세의 변화가 어깨뼈의 움직임에 영향을 미침을 알 수 있다. 앞쪽 머리 및 등근 어깨 자세가 어깨띠 운동학과 근육 활성화도에 미치는 영향에 대한 연구는 있으나, 몸통 자세의 변화에 따른 어깨띠 운동학과 근육 생리학적 연구는 미흡한 실정이다. 그리하여 본 연구는 몸통 자세의 변화가 어깨띠 운동학과 근육 활성화도에 영향을 미치는지를 알아보기 위해 실시하였다. 본 연구를 통해 몸통의 굽힘이 어깨위팔리듬과 어깨뼈의 운동학 및 근육 활성화도에 미치는 영향을 밝히고, 팔 운동 시 몸통 자세의 중요성을 제시하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상자

본 연구는 전남 소재 대학교의 재학생 중 공개지원을 받아 실시하였다. 지원자 중 한국질병관리본부에서 제공하는 신체질량 지수(body mass index)를 계산하여 정상범위(25 kg/m^2 이하)에 속하지 않는 지원자와 척추옆굽음증(scoliosis)이 있는 지원자를 제외하여 31명의 대상자(남자 8명, 여자 23명, 평균 나이 21.9 ± 2.0 year, 평균 키 170 ± 0.1 cm, 평균 몸무게 56.2 ± 7.4 kg, 평균 신체질량지수 $20.6 \pm 1.6 \text{ kg/m}^2$)가 연구를 위해 참석하였으며, 우세측은 모두 오른쪽이었다. 그들 중 어깨띠 벌림 동안 어깨띠 통증, 불안정성, 가동범위 제한, 척추옆굽음증 그리고 가슴 비대칭을 가진 대상자는 없었으며, 대상자 모두 연구동의서에 서명하였다.

2. 측정

(1) 운동학 측정

어깨띠 운동학 자료는 동작분석 시스템(LUKOtronic AS202, Lutz Kovacs Electronics, Innsbruck, Austria)을 사용하여 측정하였다. 이 시스템은 3개의 적외선 카메라와 동적 적외선 피부 마커

로 구성되고, 마커의 움직임은 100 Hz로 포착하였다. 대상자의 오른쪽 팔과 위쪽 등은 노출되었고, 적외선 피부마커는 어깨뼈 가시의 바닥(root of the scapular spine), 어깨뼈의 아래 끝(inferior angle), 봉우리 각(acromion angle), 위팔뼈의 가쪽 위관절융기(lateral epicondyle), 일곱 번째 목뼈의 가시돌기(spine process), 첫 번째, 두 번째, 열 번째 및 열한 번째 등뼈의 가시돌기에 부착하였다(Figure 1).

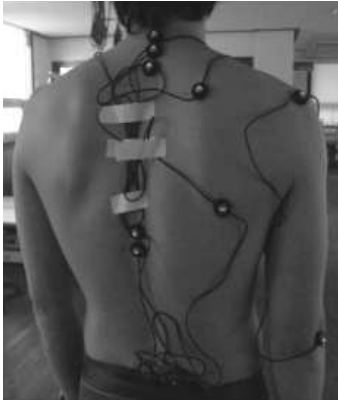


Figure 1. Markers point of attachment

Yoshizaki et al.(2009)은 어깨뼈 움직임 반복성의 신뢰도를 구하기 위해 첫째 날에 3번, 그리고 그 다음날 3번 견갑골 움직임을 측정하였고, 각 날 내에서 측정된 움직임과 날 간에 측정된 움직임의 신뢰도 모두 매우 높았다(ICC, 0.97-0.99).

어깨뼈 아래의 마커는 어깨관절 벌림의 휴식 위치에서 최대 벌림위치까지 피부 미끄러짐의 양이 크다. Yano et al.(2010)은 검사자 간과 검사자 내 신뢰도를 계산하였고, 그 결과 검사자 간 신뢰도[ICC(2, 3)]와 검사자내 신뢰도[ICC(1, 3)]는 휴식 위치에서 각각 0.93과 0.97, 60°에서 각각 0.92와 0.94, 90°에서 각각 0.89와 0.93, 최대 벌림에서 각각 0.96과 0.94였다. 그러므로 뼈의 경계점(landmark)에 부착된 마커는 본 연구에서 보고자 하는 동적인 움직임동안 등뼈와 어깨관절 벌림 각도 및 어깨뼈 움직임을 잘 표현 할 수 있을 것이다.

본 연구에서 등뼈 각도, 위팔뼈 벌림 각도 및 어깨뼈의 돌림은 동작분석 시스템(LUKOtronic AS202, Lutz Kovacs Electronics, Innsbruck, Austria)의 ASCII 자료를 통해 수집하였다. 본 연구에서 X축은 뒤쪽에서 앞쪽으로 지나는 축, Y축은 꼬리쪽에서 머리쪽으로 지나는 축, Z축은 안쪽에서 가쪽으로 지나는 축으로 정의하였다. 어깨뼈 가시의 바닥과 아래 끝을 잇는 선은 어깨뼈의 안쪽연, 어깨뼈 가시의 바닥과 봉우리 각을 잇는 선은 어깨뼈 가시로 설정하였다. 위팔뼈 벌림 각도는 일곱 번째 목뼈의 가시돌기와 열한 번째 등뼈의 가시돌기를 잇는 선과 봉우리 각과 위팔뼈 가쪽 위관절융기를 잇는 선사이의 각도로 <Figure 2, A>, 등뼈 각도는 첫 번째 등뼈와 두 번째 등뼈 가시돌기를

잇는 선과 열 번째와 열한 번째 등뼈 가시돌기를 잇는 선사이의 각도<Figure 2, B>로 계산하였다. 어깨뼈의 위쪽돌림은 관상면(YZ면)에서 어깨뼈 가시의 바닥과 아래 끝을 잇는 선과 일곱 번째 목뼈와 열 번째 등뼈를 잇는 선 사이의 각도<Figure 2, C>, 어깨뼈의 앞쪽기울임은 시상면(YX면)에서 어깨뼈 가시의 바닥과 아래 끝을 잇는 선과 일곱 번째 목뼈와 열 번째 등뼈를 잇는 선 사이의 각도<Figure 2, D>, 어깨뼈의 안쪽돌림은 수평면(XZ면)에서 Z축과 어깨뼈 가시의 바닥과 봉우리 각을 잇는 선 사이의 각도<Figure 2, E>로 계산하였다(Yano et al., 2010; Yoshizaki et al., 2009). 분석을 위해 120° 위팔뼈 벌림 동안 어깨뼈의 위쪽돌림과 앞쪽기울임 및 안쪽돌림의 움직임에 양을 사용하였다. 본 연구에서 위팔뼈 120° 벌림까지 어깨등 움직임은 어깨뼈의 위쪽돌림으로 정의하였고, 오목위팔관절 움직임은 위팔뼈 벌림 각도에서 어깨뼈 위쪽돌림을 뺀 값으로 정의하였다. 그리하여 어깨위팔리듬은 오목위팔관절 움직임을 어깨등 움직임으로 나누어 계산하였다.

(2) 근육 활성화 측정

오른쪽의 위등세모근, 아래등세모근 및 앞뿔니근의 근전도 신호 수집과 신호처리를 위해 MP100WSW(Biopac System Inc. CA. USA)를 사용하였다. 전극은 이극 표면전극(Biopac System Inc. CA. USA)을 사용하였다. 신호의 표본 수집률은 1000 Hz로 설정하였으며, 25-450 Hz 주파수 영역 필터(bandwidth)와 60 Hz 노치필터(notch filter)를 사용하였다. 근전도의 신호 저장과 신호 처리를 위해서 Acqknowledge 3.9.1 소프트웨어를 사용하였다.

위등세모근의 활성화전극은 어깨관절을 90° 벌림 하였을 때 봉우리의 가쪽 끝과 일곱 번째 목뼈의 가시돌기 간에 거리의 이분의 일 지점에 외측으로 2 cm 지점에서 상내측으로 부착하였고, 기준전극은 활성화전극에서 근육 섬유와 평행하게 하외측으로 부착하였다. 아래등세모근의 활성화전극은 어깨관절을 90°굽힘 하였을 때 견갑골의 가시돌기의 바닥으로부터 사선으로 5 cm 하내측 지점에서 위에 부착하였고, 기준전극은 그 아래에 부착하였다. 앞뿔니근의 활성화전극과 기준전극은 어깨관절을 90° 벌림하였을때 갈비뼈 6번에서 8번 높이에서 중간 겨드랑을 따라 수직으로 부착하였다. 접지전극은 측정 팔의 반대쪽 봉우리 각에 부착하였다(Ekstrom, Soderberg & Donatelli, 2005)(Figure 3).

본 연구에서는 근육의 활동전위를 정량화하기 위하여 백분율 최대 수의적 수축(percentage maximal voluntary contraction; %MVC)을 계산하였다. 각 근육에 대한 맨손 근력 검사를 통해 최대 수의적 수축(maximal voluntary contraction; MVC)동안 근육 활성도를 수집하였다. 대상자는 도수저항에 대항하여 MVC를 5 초 유지하였다. 도수저항 방법은 각 근육에서 %MVC가 크게 나타나고, 신뢰도가 높은 자세를 선택하였다(Ekstrom, Soderberg & Donatelli, 2005). 위등세모근의 측정을 위해, 대상자는 등받이

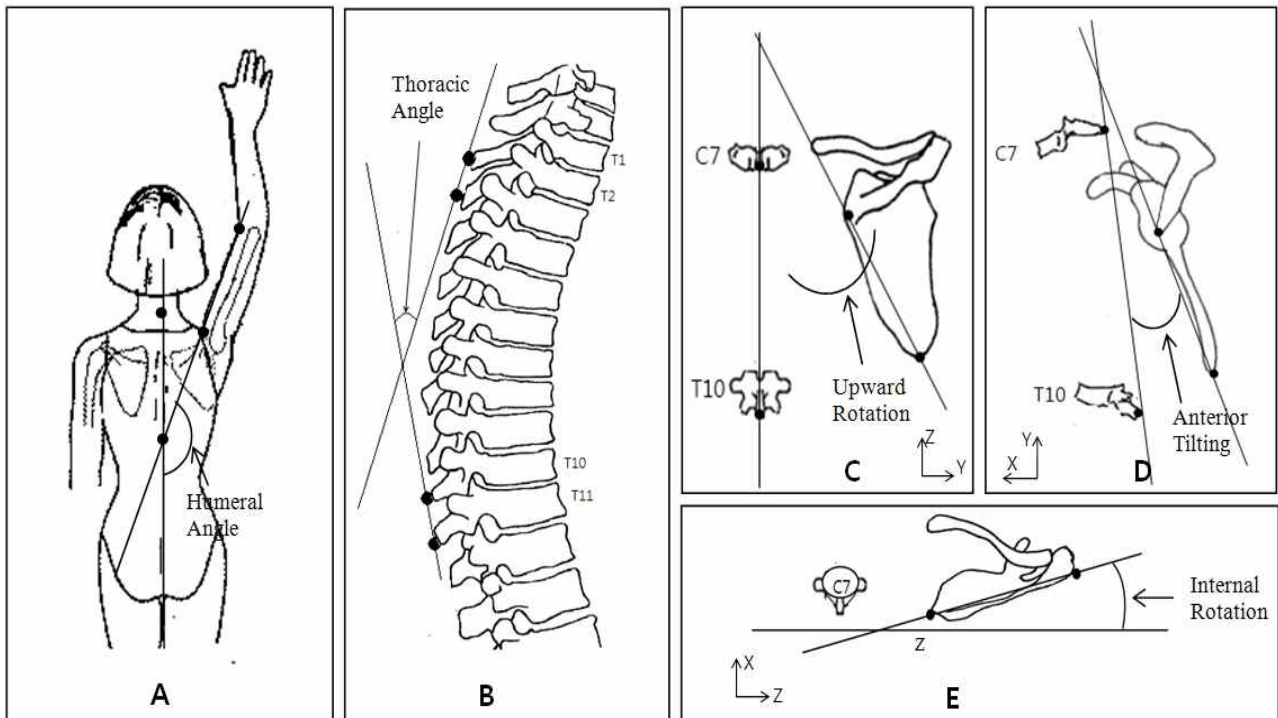
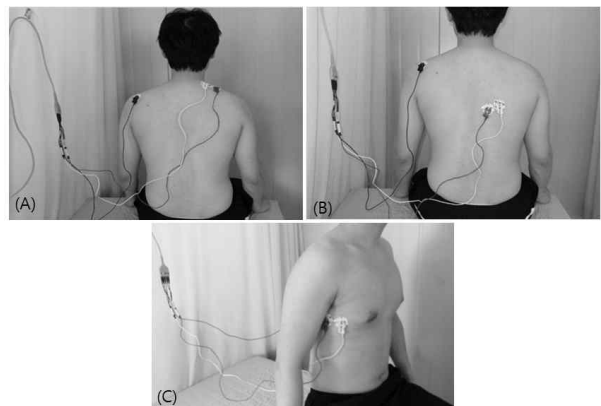


Figure 2. (A) Humeral angle: The angle between a line passing through C7 and T11 and a line passing through lateral epicondyle of humerus and acromion angle (posterior view). (B) Thoracic angle: The angle between a line passing through T1 and T2 and a line passing through T10 and T11 (lateral view). (C) Scapular upward rotation: the angle between a line passing through C7 and T10 (trunk reference) and a line passing through the inferior angle and the root of the spine of the scapula (the spine of the scapula) (posterior view). (D) Scapular anterior tilting: the angle between a line passing through C7 and T10 (trunk reference) and a line passing through the inferior angle and the root of the spine of the scapula (medial view). (E) Scapular internal rotation: the angle between the Z axis (mediolateral axis) and a line passing through the root of the spine of the scapula and acromion (superior view)

가 없는 의자에 곧은 자세를 취하고 앉아 목의 오른쪽으로 가쪽 굽힘과 어깨뼈 올림을 하였고 검사자는 대상자의 머리와 어깨관절 위에 저항을 주었다. 아래등세모근의 측정을 위해, 대상자는 엎드려 누운 자세에서 아래등세모근의 근섬유 주행과 수평하게 팔을 올림하였고 검사자는 팔꿈치관절 위에서 비단방향으로 저항을 주었다. 앞뒀니근의 측정을 위해, 대상자는 등받이가 없는 의자에 곧은 자세를 취하고 앉아 어깨관절 125° 굽힘하였고 검사자는 팔꿈치관절 위와 어깨뼈가 회전하지 못하도록 어깨뼈 아래 끝에 저항을 주었다. MVC는 각 근육에서 3회 측정하였으며, 각 회간 30초의 휴식을 가졌다. 이때 수집된 신호 중 중간 3초 동안 평균평방근(root mean square; RMS)값의 평균값을 계산한 다음, 3회 시도 값의 평균값을 각 근육의 MVC로 정의하였다. %MVC는 각 자세에서 3회 위팔뼈 벌림과 모음 동안 수집된 각 근육의 근전도 신호를 RMS 처리하여 전체 과제 수행 동안 중앙 RMS 값을 산출하였고, 3회 시도 값의 평균을 MVC로 나눈 다음 100을 곱하여 계산하였다. 측정 동안 칸막이를 이용하여 근전도 감독관이 실험 절차를 볼 수 없도록 하였다.

$$\%MVC = \frac{RMS_{during\ Humeral\ Abd.\ and\ Add.}}{MVC_{during\ Manual\ Mscl\ Test}} \times 100$$



(A) Upper trapezius (B) Lower trapezius (C) Serratus anterior
Figure 3. Electrode attachment site

3. 절차

대상자는 먼저 몸통의 곧은 자세를 선택하였다. 곧은 자세 동안 가장 빠르게 하기 위해 위쪽 몸통을 곧게 펴고, 팔은 몸통 옆에 자연스럽게 위치하였다. 대상자는 몸통의 곧은 자세에서 1초 동안 위팔뼈의 휴식 위치를 유지한 다음 6초 동안 최대 벌

림 위치까지 위팔뼈를 벌림 하였고, 최대 벌림 위치를 1초 유지한 다음 다시 6초 동안 위팔뼈를 모음 하여 처음 휴식 위치로 되돌아 왔다. 위팔뼈의 벌림과 모음은 3번 실시하였고, 각 시도 간에 30초 휴식하였다.

다음 몸통의 굽힘 자세를 위해 각 대상자는 본인이 곧은 자세를 취했을 때 등뼈의 각도보다 10°이상 굽힘 하도록 하였다. 대상자가 팔을 벌림하고 모음하는 동안 대상자가 10°이상의 등뼈 굽힘을 유지하도록 보조자가 계속 관찰하였다. 다리를 어깨넓이로 벌리고 편안하게 서도록 교육하였으며 굽힘 자세를 취한 다음 동일하게 위팔뼈 벌림과 모음을 3번 실시하였고, 각 시도 간에 30초 휴식하였다. 자세 간에는 5분 동안 휴식이 주어졌다.

위팔뼈의 휴식 위치에서 1초 동안 등뼈 각도의 평균값은 등뼈 각도가 몸통의 곧은 자세와 굽힘 자세 간에 차이가 있는지를 알아보기 위해 계산하였다. 위팔뼈의 최대 벌림 위치에서 1초 동안 위팔뼈 벌림 각도의 평균값은 위팔뼈 최대 벌림 각도가 몸통의 곧은 자세와 굽힘 자세 간에 차이가 있는지를 알아보기 위해 계산하였다. 등뼈 및 위팔뼈 벌림 각도와 어깨뼈의 움직임 및 근육 활성도는 동시에 수집하였다. 어깨위팔리듬은 자료 추출 후 계산하였다. 3번 시도의 평균값으로 각 대상자의 변인을 계산하였다. 대상자의 오른쪽 팔은 팔꿈치를 펴는 상태에서 벌림 하였고, 벌림 동안 자연스런 위팔의 가쪽돌림(lateral rotation)과 아래팔의 뒤침(supination)이 동반되었다. 대상자가 움직임을 익히기 위해, 측정 전 몇 번의 연습을 하였다.

4. 통계처리

본 연구에서의 실험결과 처리는 SPSS16.0을 사용하였으며, 모든 종속 변인은 기술통계를 사용하여 평균과 표준편차를 산출하였다. 어깨위팔리듬과 어깨뼈 움직임이 자세 간 또는 구간 간에 유의한 차이가 있는지를 알아보기 위해 대응 표본 t -검정을 시행하였다($\alpha=.05$). 위팔뼈 벌림과 모음동안 측정된 위등세 모근, 아래등세모근 및 앞톱니근의 근육 활성도에 대해 자세 간에 유의한 차이가 있는지를 알아보기 위해 대응표본 t -검정을 시행하였다($\alpha=.05$). 120°까지 위팔뼈 벌림 동안 어깨뼈 움직임의 양과 근육 활성도 간에 상관관계가 있는지를 알아보기 위해 상관관계 분석 중 pearson의 적률상관계수를 사용하였다($\alpha=.05$).

III. 결과

1. 운동학

(1) 위팔뼈 벌림 각도와 등뼈 각도

위팔뼈 휴식 위치에서 등뼈 각도는 곧은 자세에서 27.61°,

Table 1. Result of humeral abduction angle and thoracic angle (unit: °)

	Upright posture	Flexed posture	t	p'
	M±SD	M±SD		
TA	27.61±8.40	41.69±9.28	-17.033	.000*
MHAA	150.40±11.70	138.68±15.27	5.351	.000*

*paired t-test

M : mean, SD: standard deviation, TA : thoracic angle, MHAA : maximum humeral abduction angle * $p<.001$

굽힘 자세에서 41.69°로 두 자세 간에 유의한 차이가 있었으며 ($p<.001$), 최대 벌림 위치에서 위팔뼈 벌림 각도는 곧은 자세에서 150.40°, 굽힘 자세에서 138.68°로 두 자세 간에 유의한 차이가 있었다($p<.001$) (Table 1).

(2) 자세 간에 어깨위팔리듬과 어깨뼈 움직임 비교

어깨위팔리듬과 전방기울임은 위팔뼈 벌림과 모음 모두에서 자세 간에 유의한 차이가 있었다($p<.05$). 위쪽돌림은 벌림 동안 자세 간에 유의한 차이가 있었으나($p<.05$), 모음 동안 자세 간에 유의한 없었다($p<.05$). 안쪽돌림은 벌림 동안 자세 간에 유의한 차이가 없었으나($p<.05$), 모음 동안 자세 간에는 유의한 차이가 있었다($p<.05$)(Table 2)(Figure 4).

부가적으로 위팔뼈 벌림 동안 어깨뼈의 위쪽돌림의 움직임은 양의 값이 나왔으므로 위쪽으로 돌림 되지만, 어깨뼈의 앞쪽기울임의 움직임과 안쪽돌림의 움직임은 음의 값이 나왔으므로 어깨뼈는 뒤쪽으로 기울어지며 바깥쪽으로 돌림 하였다.

Table 2. Mean and standard deviation of motion on scapular rotation (unit: °)

		Upright posture	Flexed posture	t	p'
		M±SD	M±SD		
HAb	SHR	2.24±0.93	1.36±0.52	5.847	.000***
	UR	33.95±7.57	37.27±8.08	-2.563	.016*
	AT	-13.48±3.02	-10.78±5.33	-3.052	.005**
	IR	-4.44±8.60	-3.71±5.80	-4.73	.640
HAd	SHR	2.54±0.72	1.95±0.71	4.955	.000***
	UR	32.22±7.93	33.07±8.11	-9.03	.376
	AT	-12.92±4.45	-10.44±5.25	-2.806	.009**
	IR	-4.55±7.23	-2.00±6.22	-2.185	.037*

*paired t-test * $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$

M : mean, SD: standard deviation,

HAb : Humeral abduction, HAd: Humeral adduction

SHR : scapulohumeral rhythm, UR : upward rotation,

AT : anterior tilting, IR ; internal rotation

(3) 벌림과 모음간에 어깨위팔리듬과 어깨뼈 움직임 비교

어깨위팔리듬과 어깨뼈의 위쪽돌림은 곧은 자세와 굽힘 자세 모두에서 벌림과 모음 간에 유의한 차이가 나타났다($p < .05$). 어깨뼈의 앞쪽기울임은 곧은 자세와 굽힘 자세 모두에서 벌림과 모음 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다($p > .05$). 어깨뼈의 안쪽돌림은 곧은 자세에서는 모음과 벌림 간에 유의한 차이가 나타나지 않았지만($p > .05$), 굽힘 자세에서는 모음과 벌림 간에 유의한 차이가 나타났다($p < .05$)(Table 3)(Figure 4).

Table 3. Mean and standard deviation of motion on scapular rotation (unit: °)

		Humeral abduction	Humeral adduction	t	p'
Upright posture	SHR	2.24±0.93	2.54±0.72	-3.238	.003*
	UR	33.95±7.57	32.22±7.93	3.598	.001*
	AT	-13.48±3.02	-12.92±4.45	-1.163	.254
	IR	-4.44±8.60	-4.55±7.23	.137	.892
Flexed posture	SHR	1.36±0.52	1.95±0.71	-5.714	.000**
	UR	37.27±8.08	33.07±8.11	5.148	.000**
	AT	-10.78±5.33	-10.44±5.25	-.522	.606
	IR	-3.71±5.80	-2.00±6.22	-3.086	.004*

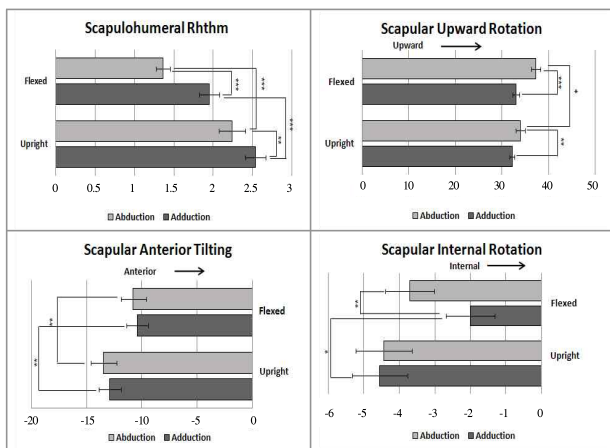
'paired t-test * $p < .01$, ** $p < .001$

M : mean, SD : standard deviation,

HAB : humeral abduction, HAD: humeral adduction

SHR : scapulohumeral rhythm, UR : upward rotation,

AT : anterior tilting, IR ; internal rotation



Paired t-test between postures or phases * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Figure 4. Result of scapular kinematic

2. 근육 활성화도

위팔뼈 벌림과 모음 동안 위등세모근의 근육 활성화도는 곧은 자세와 굽힘 자세에서 35.60 %MVC와 37.20 %MVC로 자세 간

Table 4. Result of %MVC between the two postures (unit: %MVC)

Muscle	Upright posture	Flexed posture	t	p'
	M±SD	M±SD		
Upper trapezius	35.60±32.88	37.20±30.08	-1.080	.289
Lower trapezius	30.41±16.05	35.92±17.24	-3.873	.001*
Serratus anterior	39.22±21.31	31.79±13.18	3.186	.003*

M : mean, SD : standard deviation

'paired t-test * $p < .01$

에 유의한 차이가 없었다($p > .05$), 위팔뼈 벌림과 모음 동안 아래 등세모근의 근육 활성화도는 곧은 자세와 굽힘 자세에서 30.41 %MVC와 35.92 %MVC로 자세 간에 유의한 차이가 있었다($p > .01$). 위팔뼈 벌림과 모음 동안 앞톱니근의 근육 활성화도는 곧은 자세와 굽힘 자세에서 39.22 %MVC와 31.79 %MVC로 자세 간에 유의한 차이가 있었다($p > .01$)(Table 4).

3. 어깨뼈 움직임과 근육 활성화도 간에 상관관계

위팔뼈 벌림 동안 어깨뼈 위쪽돌림, 앞쪽기울임 및 안쪽돌림의 양과 위등세모근, 아래등세모근 및 앞톱니근의 근육 활성화도 간의 상관관계 분석을 실시하였다. 위등세모근의 근육 활성화도는 120°까지 위팔뼈 벌림 동안 어깨뼈의 위쪽돌림의 움직임($r = -.057$), 앞쪽기울임의 움직임($r = -.007$) 및 안쪽돌림의 움직임($r = .178$)과 모두 유의한 상관관계가 없었다. 아래등세모근의 근육 활성화도는 120°까지 위팔뼈 벌림 동안 어깨뼈의 위쪽돌림의 움직임($r = -.086$), 앞쪽기울임의 움직임($r = -.193$) 및 안쪽돌림의 움직임($r = -.170$)과 모두 유의한 상관관계가 없었다. 앞톱니근의 근육 활성화도는 120°까지 위팔뼈 벌림 동안 어깨뼈 위쪽돌림의 움직임($r = -.324$) 및 안쪽돌림의 움직임($r = -.316$)과 유의한 상관관계가 있었지만($p < .05$), 앞쪽기울임의 움직임($r = -.170$)과는 유의한 상관관계가 없었다(Table 5).

IV. 논의

본 연구는 건강한 대상자에게서 몸통의 능동적인 굽힘이 어깨위팔리듬과 어깨뼈의 움직임 및 근육 활성화도를 변화시키는지 를 알아보았다. 위팔뼈 휴식 위치에서 등뼈 각도는 곧은 자세에서 27.61°, 굽힘 자세에서 41.69°로 두 자세 간에 유의한 차이가 있었으므로, 본 연구는 등뼈 굽힘의 능동적인 변화를 야기할 수 있었으며 이에 따른 어깨뼈의 운동학과 근육 활성화도의 변화를 알아 볼 수 있었다.

본 연구에서 어깨위팔리듬은 위팔뼈 벌림과 모음 모두에서 몸통의 곧은 자세보다 굽힘 자세에서 유의하게 감소하였으며,

어깨뼈 위쪽돌림의 움직임은 위팔뼈 벌림 시 곧은 자세 보다 굽힘 자세에서 크게 나타났다. Mell et al.(2005)은 돌림근띠 제짐과 돌림근띠 힘줄 병리 및 건강한 대상자 간에 어깨위팔리듬(어깨뼈 올림/ 위팔뼈 올림 그래프의 기울기: slope of the scapula/humeral elevation curve)을 비교하였고 팔 벌림의 초기 3분의 2동안 돌림근띠 제짐 그룹의 어깨위팔리듬은 돌림근띠 힘줄 병리 그룹과 건강한 대상자 그룹보다 유의하게 증가하였으며, 어깨뼈는 돌림근띠 제짐 그룹에서 더 올림 되었다. Fayad et al.(2008)의 연구에서 오목어깨뼈골관절염 또는 오십견이 있는 어깨관절의 어깨위팔리듬(어깨뼈 가쪽돌림/ 위팔뼈올림: scapular lateral rotation/ humerus elevation)과 어깨뼈 가쪽돌림은 손상되지 않은 어깨관절 보다 유의하게 증가하였다. Thigpen et al.(2010)의 연구에서 등뼈 뒤굽음 각도에 유의한 차이 없이 앞쪽 머리 및 등근 어깨관절 자세(Forward head and rounded shoulder posture)를 가진 대상자는 이상적인 자세를 가진 대상자와 비교하여 위팔뼈 올림 각도 120°에서 어깨뼈가 더 위쪽으로 돌림 되었다. 선행연구와 본 연구를 통해 어깨위팔리듬의 변화는 손상된 어깨관절 뿐만 아니라 어깨관절의 질병 없이 자세 변화만으로도 나타남을 알 수 있다. 어깨위팔리듬의 변화는 어깨관절의 가동범위 제한에 대한 보상패턴이며(Fayad et al., 2008), 통증 보다 돌림근띠의 강도 및 기능 소실과 연관되며, 어깨등세모근의 장력을 향상시키기 위함이다(Mell et al., 2005).

어깨뼈 위쪽돌림 움직임의 증가는 아래등세모근의 근육 활성도의 증가와 연관된다. 본 연구에서 굽힘 자세에서 아래등세모근의 근육 활성도는 35.92 %MVC로 곧은 자세 시 30.41 %MVC보다 유의하게 크게 나타났으며, 앞뿔니근의 근육 활성도는 굽힘 자세에서 31.79 %MVC로 곧은 자세 시 39.22 %MVC보다 유의하게 감소하였다. 아래등세모근은 어깨관절 벌림의 마지막 단계에서 활동하고 위쪽돌림을 유지하는데 중요한 근육이다(Thigpen et al., 2010). 본 연구에서 앞뿔니근의 근육 활성도는 위쪽돌림의 움직임과 음의 상관관계가 나타났다. 앞뿔니근은 위쪽돌림을 위한 일차적인 근육이며, 아래등세모근은 어깨관절 벌림의 마지막 단계에서 활동하고 위쪽돌림을 유지하는데 중요한 근육이다(Thigpen et al., 2010). Ludewig와 Cook(2000)의 연구에서 어깨관절 찻힘이 있는 대상자는 위팔뼈 올림의 60°이상에서 찻힘이 없는 대상자와 비교하여 아래등세모근의 근육 활성도는 증가하였으며, 이는 감소된 앞뿔니근의 근육 활성도를 대신하여 어깨뼈를 위쪽으로 돌림 시키기 위한 보상패턴이라고 제안하였다. 아래등세모근의 근육 활성도와 어깨뼈 위쪽돌림의 움직임 간에 유의한 양의 상관관계가 나오지 않았지만, 굽힘 자세에서 앞뿔니근의 근육 활성도가 감소하는 반면, 아래등세모근의 근육 활성도가 증가하였으므로, 본 연구에서 아래등세모근의 근육 활성도의 증가는 감소된 앞뿔니근의 근육 활성도를 대신하여 어깨뼈를 위쪽으로 돌림 시키기 위해 나타남을 알

수 있다. 또한 Morton와 Callister(2009)는 운동 후 결림이 빈번하게 나타나는 사람들은 최적의 전문적인 훈련을 위해 척추 정렬 측정이 필요하며, 자세수정 운동은 통증을 예방하기 위한 전략으로 고려되어질 수 있다고 제안하였다. 그러므로 몸통 굽힘 자세는 상지 운동 시 아래등세모근의 과사용으로 인해 등 부위에 통증을 야기할 것이다.

본 연구에서 어깨뼈 앞쪽기울임의 움직임은 위팔뼈 벌림과 모음 모두에서 곧은 자세보다 굽힘 자세에서 더 적게 감소하였다. 즉, 곧은 자세에서 더 적은 뒤쪽기울임의 움직임이 나타났다. 앞뿔니근은 어깨뼈의 위쪽/아래쪽돌림과 앞쪽/뒤쪽기울임을 일으키고 조절하며, 팔 올림 동안 앞뿔니근의 근육 활성도의 감소는 어깨뼈 위쪽돌림과 뒤쪽기울임을 바꾼다(Thigpen et al., 2010). 그러나 감소된 앞뿔니근의 근육 활성도에 대한 대응 작용으로 아래등세모근의 근육 활성도는 증가하여 어깨뼈 위쪽돌림을 대신 할 수 있지만 어깨뼈 뒤쪽기울임은 대신 하지 못한다(Ludewig & Cook, 2000). 최대 외전 범위는 곧은 자세(150.40°)보다 굽힘 자세(138.68°)에서 유의하게 감소하였으며, Park와 Han(2010) 및 Kebaetse, McClure와 Pratt(1999)의 연구에서도 곧은 자세보다 구부정한 자세에서 팔 올림의 최대 각도가 감소하였다. 이러한 어깨뼈 뒤쪽기울임 움직임의 감소는 어깨관절 기능부전이 있는 대상자가 다양한 기능적인 과제를 수행하는 동안 나타나며(Lin et al., 2005), 어깨뼈 뒤쪽기울임의 움직임은 팔의 기능과 유의한 양의 상관관계를 가진다(Yang, Lu, Chou, Chang & Lin, 2009). 그러므로 굽힘 자세에서 앞뿔니근의 근육 활성도 감소는 팔 올림 동안 어깨뼈의 뒤쪽기울임을 충분히 만들어 내지 못하며, 이는 상지의 기능을 제한한다. 이러한 변화는 몸통의 자세 뿐 아니라 상체의 비정상적인 자세에서도 유사한 결과가 나타난다. 곧은 앉기 자세와 비교하여 구부정한 앉기 자세에서 90°까지 위팔뼈 벌림 동안 어깨뼈 뒤쪽기울임의 움직임은 유의하게 감소하며(Finley & Lee, 2003), 이상적인 자세를 가진 대상자 보다 앞쪽 머리 및 등근 어깨 자세를 가진 대상자는 120°까지 위팔뼈 올림 동안 평균 뒤쪽기울임이 감소한다(Thigpen et al., 2010). 또한 앞뿔니근의 근육 활성도는 등근 어깨 자세와 음의 상관관계를 가지며(Park, Park & Lee, 2010), 앞쪽 머리 및 등근 어깨 자세를 가진 대상자에게서 감소한다(Thigpen et al., 2010). 오십견이 있는 피험자에게 어깨뼈 운동은 어깨관절 가동범위를 증가에 도움이 되며(Lim, Shin, Kim, Hur & Bae, 2002), 어깨뼈의 안정화 운동은 팔 올림 동안 어깨뼈의 뒤쪽기울임의 양을 증가시킨다(Wang, McClure, Pratt & Nobilini, 1999). 그러므로 몸통의 자세뿐만 아니라 앞쪽 머리 자세, 등근 어깨 자세 및 구부정한 자세를 갖고 있는 피험자에게 팔 기능의 증진을 위해 자세 수정과 어깨뼈의 운동은 효과적일 것이다.

본 연구에서 안쪽돌림의 움직임은 위팔뼈 모음 동안 곧은 자세보다 굽힘 자세에서 그리고 굽힘 자세에서 위팔뼈 벌림보

다 모음에서 더 적게 감소하였으므로, 어깨뼈 바깥쪽돌림의 움직임이 더 적게 나타났다. 찰힘이 있는 피험자는 종종 팔을 올릴 때 보다 내릴 때, 특히 중간범위에서 더 많은 통증을 보고한다. 이는 팔을 내릴 때 등으로부터 어깨뼈의 아래 끝이 떨어짐으로써 어깨뼈의 위쪽 부분이 앞쪽으로 회전하고 봉우리는 위 팔뼈 머리와 가까워지면서 나타나는 봉우리 밑 공간의 감소가 조직의 찰힘 가능성을 증가시키기 때문이다(Borstad & Ludewig, 2002). 그러므로 팔을 내릴 때 봉우리 밑 공간을 유지하는데 어깨뼈 바깥쪽 돌림의 움직임이 중요하며, 몸통의 굽힘 자세에서는 팔을 내릴 때 어깨뼈 바깥쪽 움직임이 감소하여 봉우리 밑 공간의 감소로 인해 봉우리 밑 공간을 지나는 가시위근 등의 돌림근띠의 손상과 통증에 원인이 될 것이다.

본 연구에서 곧은 자세와 벌림 자세 모두에서 벌림 보다 모음 동안 어깨뼈 위쪽돌림의 움직임은 유의하게 감소하였으며, 어깨위팔리듬은 증가하였다. Braman et al.(2009)의 연구에서 어깨위팔리듬은 팔을 올릴 때 보다(2.37), 내릴 때(2.60) 증가하였다. 또한 Yano et al.(2010)와 Yoshizaki et al.(2009)의 연구에서 팔을 동적으로 팔을 올리고 내릴 때 어깨뼈의 3차원적 움직임을 측정하였으며, 팔을 최대로 올린 다음 휴식 위치까지 내렸을 때 어깨뼈의 위쪽돌림은 약간 유지되어 팔을 올리기 전 휴식 위치 시 보다 어깨뼈 위쪽돌림이 크게 나타났다. 그러나 팔을 올릴 때 보다 내릴 때 견갑골 위쪽돌림의 주동근인 위등세모근, 아래등세모근 및 앞뿔니근의 근육 활성도는 감소하였다(Thigpen et al., 2010; Yoshizaki et al., 2009). Yoshizaki et al.(2009)의 연구에서 어깨뼈 면을 따라 팔을 벌림하고 모음하는 동안 10° 간격으로 위등세모근, 아래등세모근 및 앞뿔니근의 근육 활성도를 기록하였다. 그 결과 아래등세모근과 앞뿔니근의 근육 활성도는 수직적으로 증가하다가 수직적으로 감소하였지만, 위등세모근의 근육 활성도는 팔을 내릴 때 120°부터 40°까지 근육 활성도가 수평적으로 유지되었다. 그러므로 본 연구와 선행연구에서 팔을 내릴 때 어깨뼈 위쪽돌림이 유지되는 것은 위등세모근의 지속적인 활동으로 인해 나타났을 것이다.

본 연구에서 앞뿔니근의 근육 활성도와 안쪽돌림의 움직임 간에 음의 상관관계가 나타났다. 구부정한 자세에서 어깨뼈는 아래쪽으로 회전되고 전인(protraction)되어 상대적으로 몸통에서부터 어깨뼈의 안쪽연(medial border)이 멀어지게 된다(Mottram, 1997). Bourne, Choo, Regan, MacIntyre 와 Oxland (2007)는 어깨뼈와 흉곽(rib-case)과의 관계가 어깨뼈의 안쪽으로 또는 바깥쪽으로도 돌림을 결정짓는 주요 인자이며, 앞뿔니근의 활동으로 인해 어깨뼈의 안쪽연이 등에 고정된다면 어깨뼈는 바깥쪽으로 돌림 할 것이고, 반면 빗장뼈가 앞쪽으로 움직인다면 어깨뼈는 등으로부터 상대적으로 뒤쪽으로 떨어지게 되어 어깨뼈를 더 안쪽으로 돌림 시킬 것이라고 제안하였다. 그러므로 몸통 굽힘 자세로 인해 등뼈의 안쪽연이 흉곽에서 멀어

지게 되면 앞뿔니근의 길이-장력 관계에 영향을 미쳐 근육 활성도가 감소 할 것이며, 이는 어깨뼈의 바깥쪽돌림의 움직임을 감소시킬 수 있다.

V. 결론 및 제언

본 연구는 건강한 대상자가 위팔뼈를 벌림하고 모음 하는 동안 능동적인 몸통 자세의 변화가 어깨위팔리듬과 어깨뼈의 움직임 및 근육 활성도를 변화시키는지 알아보기 위해 시행하였다. 120°까지 위팔뼈 벌림과 모음 동안 몸통의 굽힘 자세에서 어깨위팔리듬과 어깨뼈의 뒤쪽기울임은 곧은 자세에서보다 유의하게 감소하였다. 또한 위팔뼈 120°까지 벌림과 모음 동안 몸통의 굽힘 자세에서 아래등세모근의 근육 활성도는 곧은 자세보다 증가하였지만, 앞뿔니근의 근육 활성도는 감소하였으며, 앞뿔니근의 근육 활성도는 어깨뼈 위쪽돌림 및 안쪽돌림의 움직임과 음의 상관관계가 나타났다. 본 연구의 결과를 통해 등뼈의 굽힘 자세는 위팔뼈 벌림과 모음 동안 어깨등 움직임과 오목위팔뼈 움직임 간의 관계를 변화시키며, 감소한 앞뿔니근의 근육 활성도와 변화된 어깨뼈 움직임은 어깨뼈의 불안정성을 가져와 어깨관절 질병과 기능부전에 원인이 됨을 알 수 있다. 던지기 등과 같은 스포츠 뿐만 아니라 팔을 머리위로 사용하는 일상생활에서 어깨관절의 손상 없이 효과적으로 팔을 사용하기 위해서 어깨뼈의 움직임과 위치는 중요하며, 이는 몸통의 굽힘 자세에서 부정적으로 바뀔 수 있으므로, 몸통 자세의 주의 깊은 관찰이 필요하다. 또한 몸통의 굽힘 자세를 가진 대상자에게 팔 기능의 회복을 위해 몸통의 자세적 접근은 효과적인 일 것이다.

본 연구를 기초로 하여 실제로 어깨관절의 질병이 있는 대상자, 어깨관절에 질병이 없이 팔 기능에 제한이 있는 대상자 및 실제적인 자세 변화가 있는 대상자에게서 어깨뼈를 포함한 어깨관절의 운동학적 및 근육 생리학적 연구가 필요하다. 또한 장기적인 몸통 자세 수정 운동이 이들 대상자에게 미치는 영향에 대한 연구가 이루어 져야 한다.

참고문헌

- Altchek, D., & Levinson, M.(2000). The painful shoulder in the throwing athlete. *Orthopedic Clinics of North America*, 3, 241-245.
- Barnett, N. D., Duncan, R. D. D., & Johnson, G. R.(1999). The measurement of three dimensional scapulohumeral kinematics-a

- study of reliability. *Clinical Biomechanics*, 14(4), 287-290.
- Borstad, J. D., & Ludewig, P. M.(2002). Comparison of scapular kinematics between elevation and lowering of the arm in the scapular plane. *Clinical Biomechanics*, 17(9), 650-659.
- Bourne, D. A., Choo, A. M. T., Regan, W. D., MacIntyre, D. L., & Oxlandm, T. R.(2007). Three-dimensional rotation of the scapula during functional movements: An in vivo study in healthy volunteers. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 16(2), 150-162.
- Braman, J. P., Enge, S. C., LaPrade, R. F., & Ludewig, P. M.(2009). In vivo assessment of scapulohumeral rhythm during unconstrained over head reaching in asymptomatic subjects. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 18(6), 960-967.
- Burkhart, S. S., Morgan, C. D., Kibler, W. B.(2003). The disabled throwing shoulder: Spectrum of pathology Part III: The SICK scapula, scapular dyskinesis, the kinetic chain, and rehabilitation. *Arthroscopy*, 19, 641-661.
- Crosbie, J., Kilbreath, S. L., Hollmann, L., & York, S.(2008). Scapulohumeral rhythm and associated spinal motion, *Clinical Biomechanics*, 23(2), 184-192.
- Diederichsen, L. P., Nørregaard, J., Dyhre-Poulsen, P., Winther A., Tufekovic, G., Bandholm, T., Rasmussen, L. R., & Krosgaard, M.(2009). The activity pattern of shoulder muscles in subjects with and without subacromial impingement. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(5), 789-799.
- Ebaugh, D. D., McClure, P. W., & Karduna, A. R.(2005). Three-dimensional scapulothoracic motion during active and passive arm elevation. *Clinical Biomechanics*, 20(7), 700-709.
- Edmondston, S. J., Aggerholm, M., Elfving, S., Flores, N., Ng C., Smith, R., & Netto K.(2007). Influence of posture on the range of axial rotation and coupled lateral flexion of the thoracic spine. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 30(3), 193-199.
- Ekstrom, R. A., Soderberg, G. L., & Donatelli, R. A.(2005). Normalization procedures using maximum voluntary isometric contractions for the serratus anterior and trapezius muscles during surface EMG analysis. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 4(15), 418-428.
- Fayad, F., Roby-Brami, A., Yazbeck, C., Hamneton, S., Lefevre-Colau, M. M., Gautheron, V., Poiraudau, S., & Revel M.(2008). Three-dimensional scapular kinematics and scapulohumeral rhythm in patients with glenohumeral osteoarthritis or frozen shoulder. *Journal of Biomechanics*, 41(2), 326-332.
- Finley, M. A., & Lee, R. Y.(2003). Effect of sitting posture on 3-dimensional scapular kinematics measured by skin-mounted electromagnetic tracking sensors. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84(4), 563-568.
- Hamada, J., Igarashi E., Akita K., & Mochizuki T.(2008). A cadaveric study of the serratus anterior muscle and the long thoracic nerve. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 17(5), 790-794.
- Inman, V. T., Saunders, J. B., & Abbott, L. C.(1944). Observations on the function of the shoulder joint. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 26(1), 1-26.
- Karduna, R. A., McClure, P. W., Michener, L. A., & Sennett, B.(2001). Dynamic measurement of three dimensional scapular kinematics: a validation study. *Journal of Biomechanical Engineering*, 123(2), 184-190.
- Kebaetse, M., McClure, E., & Pratt, N. E.(1999). Thoracic position effect on shoulder range of motion, strength, and three-dimensional scapular kinematics. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 80(8), 945-950.
- Lim, W. S., Shin, H. S., Kim, I. S., Hur, S. G., & Bae, S. S.(2002). The effects of scapular pattern and hord-felax technique of PNF on the ROM and VAS in frozen shoulder patients. *The Journal Korean Society of Physical Therapy*, 14(1), 15-26.
- Lin, J., Hanten, W. P., Olson, S. L., Roddey, T. S., Soto-quijano, D. A., Lim, H. K., & Sherwood, A. M.(2005). Functional activity characteristics of individuals with shoulder dysfunctions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 15(6), 576-586.
- Lin, J., Lim, H. K., Soto-quijano, D. A., Hanten, W. P., Olson, S. L., Roddey, T. S., & Sherwood, A. M.(2006). Altered patterns of muscle activation during performance of four functional tasks in patients with shoulder disorders: Interpretation from voluntary response index. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 16(5), 458-468.
- Ludewig, P. M., & Cook, T. M.(2000). Alterations in shoulder kinematics and associated muscle activity in people with symptoms of shoulder impingement. *Physical Therapy*, 80(3), 276-291.
- Mell, A. G., LaScalza, S., Guffey, P., Ray, J., Maciejewski, M., Carpenter, J. E., & Hughes R. E.(2005). Effect of rotator cuff pathology on shoulder rhythm. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 14(1), 58-64.

- Morton, D. P., & Callister, R.(2009). Influence of posture and body type on the experience of exercise-related transient abdominal pain. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13, 485-488.
- Mottram, S. L.(1997). Dynamic stability of the scapula. *Manual Therapy*, 2(3), 123-131.
- Neumann, D. A.(2006). *Kinesiology of the Musculoskeletal System* 1st ed. Seoul: Jungdammedia.
- Nissen, C. W., Westwell, M., Ounpuu, S., Pate, I. M., Tate, J. P., Pierz, K., Burns, J. P., & Bicos, J.(2007). Adolescent base ball pitching technique: a detailed three-dimensional biomechanical analysis. *Medicine and Science on Sports and Exercise*, 39(8), 1347-1357.
- Park, S. K., & Han, S. E.(2010). The effect of thoracic posture in the shoulder range of motion and three-dimensional scapular kinematics. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 20(2), 197-204.
- Park, S. K., Park, J. M., & Lee, J. H.(2010). Effects of a push up plus exercise program on scapular position and muscle activity in individuals with rounded shoulder posture. *The Journal Korean Society of Physical Therapy*, 22(5), 1-8.
- Sheikhzadeh, A., Yoon, J., Pinto, V. J., & Kwon, Y. W.(2008). Three-dimensional motion of the scapula and shoulder during activities of daily living. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 17(6), 936-942.
- Theodoridis, D., & Ruston, S.(2002). The effect of shoulder movements on thoracic spine 3D motion. *Clinical Biomechanics*. 17(5), 418-421.
- Thigpen, C. A., Padua, D. A., Michener, L. A., Guskiewicz, K., Giuliani, C., Keener, J. D., & Stergiou, N.(2010). Head and shoulder posture affect scapular mechanics and muscle activity in overhead tasks. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(4), 701-709.
- Wang, C. H., McClure, P., Pratt, N. E., & Nobilini, R.(1999). Stretching and strengthening exercises: their effect on threedimensional scapular kinematics. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 80(8), 923-929.
- Wilk, K. E., Meister, K., & Andrews, J. R.(2002). Current concepts in the rehabilitation of the overhead throwing athlete. *American Journal of Sports Medicine*, 30, 136-151.
- Weon, J. H., Oh, J. S., Cynn, H. S., Kim, Y. W., Kwon, O. Y., & Yi, C. H.(2009). Influence of forward head posture on scapular upward rotators during isometric shoulder flexion. *Journal of Bodywork & Movement Therapies*, 14(4), 367-374.
- Yang, J., Lu, T., Chou, F., Chang, C., & Lin, J.(2009). Secondary motions of the shoulder during arm elevation in patients with shoulder tightness. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(6), 1035-1042.
- Yano, Y., Hamada, J., Tamai, K., Yoshizaki, K., Sahara, R., Fujiwara, T., & Nohara, Y.(2010). Different scapular kinematics in healthy subjects during arm elevation and lowering: Glenohumeral and Scapulothoracic patterns. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(2), 209-215.
- Yoshizaki, K., Hamada, J., Tamai, K., Sahara, R., Fujiwara, T., & Fujimoto, T.(2009). Analysis of the scapulohumeral rhythm and electromyography of the shoulder muscles during elevation and lowering: Comparison of dominant and nondominant shoulders. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 18(5), 756-763.