

진동을 동반한 슬링 운동이 어깨 손상 환자의 관절가동범위, 근력, 통증, 기능장애 수준에 미치는 영향

지창연¹, 김선엽²

¹동탄시티병원 물리치료실, ²대전대학교 보건의료과학대학 물리치료학과

Effects of Sling Exercise With Vibration on Range of Motion, Muscle Strength, Pain, Disability in Patients With Shoulder Injuries

Chang-yeon Chi¹, PT, Sunh-yeop Kim², PhD, PT

¹Dept. of Physical Therapy, Dong Tan City Hospital

²Dept. of Physical Therapy, College of Health Medical & Science, Daejeon University

Abstract

Background: Sling exercises are frequently used for the rehabilitation process of patients with shoulder joint injuries, but research on the significant frequency intensity and appropriate treatment duration for sling exercises with local vibration stimulation is lacking.

Objects: The aim of this study was to investigate the effects of sling exercise with vibration on shoulder range of motion (ROM), muscle strength, pain, and dysfunction in patients with a medical diagnosis of shoulder joint injury.

Methods: Twenty-two patients were randomly assigned to the experiment and control groups. Six sling exercises with and without 50 Hz vibrations were applied in the experiment and control groups, respectively. Each exercise consisted of 3 sets of 5 repetitions performed for 6 weeks. The assessment tools used included shoulder joint range of motion, muscle strength, pain level, and shoulder pain and disability index for functional disability. We conducted re-evaluations before and 3 and 6 weeks after intervention. The changes in the measurement variables were analyzed and compared between the two groups.

Results: The ROM of the external rotation of the shoulder joint had a significant interaction between the group and the measurement point ($F=3.652$, $p<.05$). In both groups, we found a significant increase in external rotation angle between the measurement points ($p<.05$). The flexor strength of the shoulder joint significant interaction between the group and the measurement point ($F=4.247$, $p<.05$). Both the experiment ($p<.01$) and control groups ($p<.05$) showed a significant increase in shoulder flexor strength at the measurement points. After 6 weeks of the interventions, both the groups showed significantly improved VAS ($p<.01$), SPADI ($p<.01$), and orthopedic tests ($p<.01$). However, there was no significant difference between the group and the measurement point in terms of the clinical outcomes observed.

Conclusion: The sling exercise with local vibration of 50 Hz affected the external rotation of the shoulder range of motion and improved shoulder flexor strength in the patients with shoulder injuries. Therefore, we propose the use of the sling exercise intervention with vibration in the exercise rehabilitation of patients with shoulder joint injuries.

Key Words: Neuromuscular training; Shoulder pain; Sling exercise; Vibration.

I. 서론

인구 조사에 따르면, 보편적인 근골격계 통증 증후군 중의 하나인 어깨 통증을 성인의 18~26%에 영향을 미친다(Linaker 등, 2015). 성인의 3명 중 2명이 다양한 원인에 의해 어깨 통증을 경험한다(Struyf 등, 2016). 어깨 통증을 발병 후 6개월 이내에 회복되는 환자가 절반에 불과하기 때문에 만성 어깨 환자로 진행 될 수 있으며(Kuijpers 등, 2006), 연령대는 중년(40~65세)에서 유병률이 가장 높다(Bussieres 등, 2008). 어깨 부딪힘 증후군(subacromial impingement syndrome)과 돌림근띠(rotator cuff) 질환은 가장 흔한 어깨 통증의 원인 중 하나이며(Saltychev 등, 2015), 유착성 관절낭염(adhesive capsulitis)도 이에 포함된다(Page 등, 2014). 이러한 질환의 의학적 처치는 환자의 상태에 따라서 약물요법, 주사요법, 운동 치료 및 수술 등의 방법을 선택하고 있다(House 등, 2010; Mitchell 등, 2005).

어깨 질환을 일으키는 원인으로, 봉우리밑(subacromial) 병리를 가진 사람들은 종종 돌림근띠 근력의 근력 약화, 어깨 구조의 후방 조직에 유연성 제한 그리고 연부조직의 제한, 어깨뼈 근력의 약화, 어깨뼈 이상증 등이 동반되며, 다양한 요인들에 의해 어깨 움직임이 제한된다. 봉우리밑 병리의 특성을 감안할 때 치료적 운동, 도수치료, 가정 운동프로그램 등을 포함한 다양한 중재 프로그램들이 적용되고 있고, 임상 현장에서는 슬링 시스템(sling system)을 이용한 운동을 위의 중재법들과 함께 적용할 때 환자들의 손상 수준이나 기능장애 개선에 긍정적 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 슬링 운동은 움직임의 기능 및 신체 변화에 기여하는데, 14명의 여성 소프트볼 선수를 대상으로 적용한 닫힌 사슬 저항 운동이 열린 사슬 저항 운동과 비교해 공을 던지는 속도에 유의한 차이가 있었다는 연구가 있었고(Prokopy 등, 2008), 16명의 야구 선수를 대상으로 한 연구에서는 슬링 운동프로그램이 공을 던지는 정확도와 속도에 효과가 있었다고 하였다(Huang 등, 2011). 또한 체간 심부근(core) 안정화 훈련 시에 균형 감각을 자극하는 도구를 함께 적용하면서 자세의 변화를 시도하였을 때 자세 유지에 필요한 근육들을 더 촉진시킬 수 있었다고 하였다(Stanton 등, 2004). 슬링 운동은 일반적으로 신경근 재교육과 함께 근력 및 지구력 향상을 목표로 하며, 이러한 슬링 운동 장비는 기본적으로 안정화 운동에 초점을 맞추어 개발되었으며, 개개인의 운동 수준에게 맞춰 운동 프로그램을

적용시킬 수 있다는 장점이 있다(Vikne 등, 2007).

기능장애를 개선시키기 위한 다른 시도로 진동(vibration) 자극의 적용이 있다. 진동 자극을 통한 근 수축의 기전에 변화 유도가 다양한 긍정적 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Rittweger, 2010). 진동 자극이 근육에 어떤 영향을 주는가에 대한 몇 가지 가설이 제시된 바 있다(Cardinale과 Bosco, 2003; Roelants 등, 2006). 근육과 힘줄의 기계적 수용체에 다양한 종류의 진동에 대한 민감도의 차이에도 불구하고 진행 중인 운동 활동에 대한 말초 감각의 부호화(coding)는 가해진 진동자극에 의해 크게 변화된다고 하였고(Roll 등, 1989), 근육이나 건에서 일어나는 이러한 반응은 긴장성 진동 반사라고 불리는 '비수의적 근수축'에 의해 활성화 된다고 알려져 있다(Eklund과 Hagbarth, 1966). Roelants 등(2006)은 진동 자극을 적용한 넙다리 네갈래근에 편측 스쿼트 동작 시 근육의 활성화도가 양측 등척성 스쿼트 동작 시보다 더 높게 반응하였다고 하였다. 즉, 진동을 활용 시 근수축 반응을 더 유도할 수 있기 때문에 적용 부위나 진동 주파수 및 적용 시간 등의 다양한 변수들을 신중하게 접근할 필요가 있다.

그러나 아직 진동이 최대 근 수축 기능을 향상시키는 명확한 기전이나 근거가 밝혀지지 못한 실정이다(Luo 등, 2005). 선행연구에서 진동 자극을 이용한 운동의 효과로 신경근 운동 강도(예: 근력과 근 파워)를 향상시킬 수 있는 잠재력과 재활 운동프로그램을 위한 수단이 될 수 있다고 제안된 바 있다(Cardinale과 Bosco, 2003). 진동의 매개변수로 제안된 연구에서는 44 Hz 주파수의 진동을 동반한 하지 운동 시 하지의 유연성에 증가(Issurin 등, 1994), 40~50 Hz 주파수 적용이 여성의 운동 속도와 점프 높이의 개선(Bazett-Jones 등, 2008) 그리고 50 Hz로 직접 아킬레스힘줄에 진동자극을 적용 시에 긍정적 변화를 촉진했다는 보고가 있었다(Lapole과 Perot, 2010). 어깨 유착성 관절낭염 환자에게 적용한 60 Hz의 국소적 진동자극이 굽힘과 벌림, 안쪽돌림, 가쪽돌림 관절가동범위에 통계적으로 유의한 차이가 있었다는 연구도 있었다(Choi 등, 2015). 여러 선행 연구에서 근육 활동의 촉진을 위해 적절한 범위로 50 Hz까지 제시하고 있으며, 일부 연구에서는 50 Hz를 초과하는 경우 근육 작용이 감소하는 결과를 나타내기도 하였다(Kim 등, 2014). 현재까지 운동치료 시 진동 자극의 적용에 대한 긍정적인 변화는 주로 하지 부위에 있는 큰 근육에 대해 제한적으로 적용되어 그 영향을

연구해 왔으며, 기타 인체의 다른 부위에 대한 추가적인 연구가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구는 어깨 질환을 가진 환자들을 대상으로 치료적 목적의 슬링 시스템을 이용한 어깨 운동 시 함께 적용한 진동 자극이 어깨 환자에게 어깨의 관절가동범위와 근력 그리고 통증 수준, 어깨 기능장애 수준에 미치는 영향을 알아보려고 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상자

본 연구는 경기도 H시에 위치한 D병원에 입원 또는 외래 환자 중 정형외과 전문의로부터 어깨 부위의 질환을 진단받고 어깨 통증을 경험하고 있는 환자들을 대상으로 하였다. 연구대상자의 선정 기준은 어깨 돌림근띠 파열 환자 중 수술 후 6주 이상 경과된 자, 어깨뼈봉우리 성형술을 받은 환자 그리고 어깨 부딪힘 증후군, 유착성 관절낭염, 석회 힘줄염, 어깨 오목테두리 손상 등의 진단을 받은 환자로 하였으며, 이 연구에서 적용하는 운동 중재 프로그램 적용 시 통증이나 불편함이 발생되지 않는 자로 하였다. 제외 기준은 어깨 인공관절 수술 환자, 상지의 신경학적 질환이 있는 자, 이 연구에서 실시한 운동 중재 시 요통이 발생하는 자, 연구 내용을 충분히 인지하지 못하는 자는 제외하였다. 대상자 수는 G*Power software ver. 3.1.9.2 (G*Power, University of Kiel, Kiel, Germany) 프로그램을 이용하였고 Cohen의 표본추출 공식을 이용해 이 연구의 목적에 적절한 표본 수를 산출하였다. 본 연구에서 두 군을 대상으로 중재전과 중재 프로그램 적용 3주후, 6주후에 그 영향을 분석할 것으로, 효과에 대한 검정력을 유지하기 위해 효과 크기는 .4, 유의수준 .05, 검정력 .95, 측정 수는 3으로 설정하고 표본 크기를 산출한 결과, 전체 대상자의 최소 표본 크기는 18명이었고, 탈락률 20%를 예상하여 연구대상자는 22명으로 정하였다. 본 연구의 계획서는 대전대학교 기관윤리심의위원회에 심의를 거쳐 승인을 받았다(승인 번호: 1040647-201804-HR-012-01).

2. 평가도구 및 측정방법

가. 어깨 통증 수준

어깨 통증의 수준은 시각적상사척도(visual analogue scale; VAS)를 이용하여 측정하였다. 측정된 척도는

‘가장 아픈 동작 시에 느끼는 통증’ 수준으로 정해 질문하였고, 10 cm 길이에 1 mm 간격으로 그려진 선상에 통증의 정도를 표시하였고, 0에서 10 cm 사이의 수평선 위에 “V” 표시를 하도록 하였다. 이를 통해 환자가 경험하고 있는 통증의 정도를 시각적인 형태로 표시하도록 하였다. 통증이 없는 상태를 0으로 하였고, 매우 극심한 통증을 10으로 정의하였다. VAS에 평가는 검사-재검사의 신뢰도($r=.99$)와 측정자간 신뢰도($r=1.00$)가 유의하게 나타났다(Wagner 등, 2007).

나. 어깨 관절가동범위

어깨 관절의 관절가동범위는 능동적 관절가동범위로 측정하였고 측정자의 구두지시에 맞춰 실시하였다. 측정 자세는 어깨관절 굽힘, 벌림은 선 자세에서, 가쪽돌림과 안쪽돌림은 바로 누운 자세에서 측정하였다. 가쪽돌림, 안쪽돌림은 환자가 할 수 있는 가능한 최대 벌림 자세에서 실시하였고, 중재 후 측정 시에 중재 전에 측정한 같은 벌림 자세 위치에서 재측정하였다. 어깨 관절의 굽힘과 벌림, 가쪽돌림, 안쪽돌림을 각각 2회 반복 측정하였고, 그 평균값을 측정치로 정하였다. 측정은 중재 전과 3주후, 6주후에 측정하였다. 관절가동범위의 측정 도구는 스마트폰의 응용소프트웨어 측각기(clinometer+bubble, plaincode software solutions, Germany)를 사용하였다. 스마트폰의 측각기 프로그램은 전통적인 일반 측각기 방법과 비교했을 때 동등하게 높은 신뢰도를 보였고, 뇌졸중 환자의 어깨에 수동적 관절가동범위 측정 시 측정자간 신뢰도(intraclass correlation coefficient; ICC=.75~.93)는 높은 수준이었다(Park 등, 2014).

다. 어깨 기능장애 수준

어깨 부위의 기능장애 수준을 평가하기 위해 한국판 어깨 통증과 기능장애 지수(shoulder pain and disability index; SPADI) 평가표를 이용하여 평가하였다. 이 평가지는 총 13개의 평가 항목으로 구성되어 있고, 세부 항목은 통증 평가 5문항과 기능장애 평가용 8문항으로 구성되었다. 이 평가를 통해 어깨의 SPADI-통증(SPADI-P), SPADI-기능장애(SPADI-D), SPADI 총점수(SPADI)로 각각 평가하였고, 이 지수의 척도에서 0점은 ‘통증이 전혀 없음’, ‘힘이 들지 않음’을 뜻하며, 10점은 ‘심한 통증’, ‘도움 없이는 할 수 없음’을 의미한다. 이 측정 점수가 높을수록 상지의 기능장애 수준이 나쁨을 의미하는 것이다(Roach 등, 1991). 한국판 SPADI의

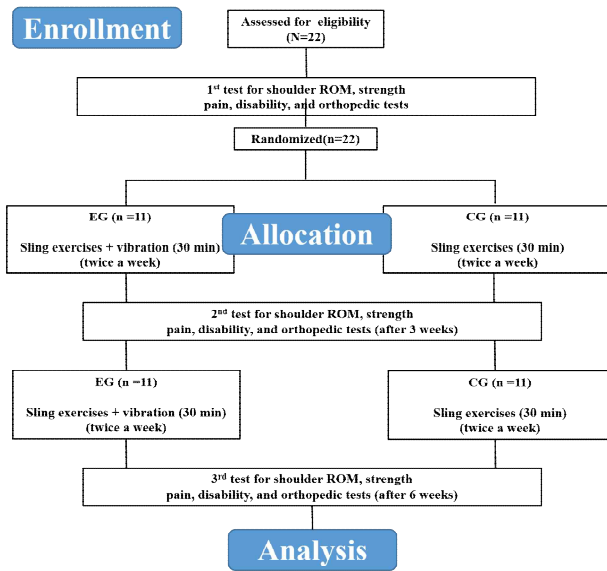


Figure 1. Study design. EG: experimental group, CG: control group, ROM: range of motion.

급간내 상관계수(intraclass correlation coefficient; ICC)는 .99로 매우 높은 신뢰도를 보였다(Seo 등, 2012).

라. 어깨 관절 근력 측정

어깨 관절 주위근의 근력을 평가하기 위해 근력측정기(JTech Power TrackII, JTech Medical, Utah, USA)을 이용하였다. 이 휴대용 도수 근력측정기의 ICC값은 .77~.96의 신뢰도를 보였다(Dollings 등, 2012). 근력측정기의 측정 단위는 Newtons이다. 근력 평가는 어깨 관절의 굽힘근, 벌림근, 가쪽돌림근 그리고 안쪽돌림근의 근력을 측정하였고, 모든 측정은 표준화된 자세에서 실시하였다. 측정은 중재 전과 중재 3주후, 6주후에 각 2회씩 반복 측정하였고 평균값을 분석에 사용하였다. 근력 측정 순서의 의한 영향을 배제하기 위해 측정 순서는 무작위로 실시하였고, 근 피로도를 최소화하기 위해 각 측정 간에 60초의 휴식기를 주었다.

마. 정형의학적 특수 검사(orthopedic special test)

대상자들의 손상 어깨에 신경근골격계 손상 상태를 평가하기 위해 정형의학적 특수 검사를 실시하였다. 평가 방법들은 Hegedus 등(2012)에서 제시된 어깨 관절과 관련된 특수 검사 중 동통 호(painful arc) 검사, 니어(Neer) 검사, 하우킨스-케네디(Hawkins-Kennedy) 검사, 가쪽돌림 저항(resisted-external rotation) 검사, 캔 비우

기(empty can) 검사 5가지를 실시하였다. 5가지 정형 의학적 특수 검사를 한 후 검사별로 양성 반응 시 1점, 음성반응 시 0점으로 처리하였고, 총 점수의 범위는 0~5점이다.

3. 연구 설계와 중재방법

가. 연구 설계

본 연구는 어깨 관절에 진단 받은 환자를 대상으로 선정 조건을 충족시킨 환자 22명을 대상으로 시행하였다. 선정된 대상자 중 슬링 운동과 국소적 진동자극을 적용할 실험군(11명)과 슬링 운동만을 적용할 대조군(11명)에 무작위 배정하였다(Figure 1). 무작위 배정 도구(research randomizer; <http://www.randomizer.org/>)를 이용하여 배정하였다. 실험군과 대조군 모두에게 슬링 시스템을 이용한 운동 6가지를 주 2회 각각 실시하였고, 실험군은 국소적 진동자극을 동반한 슬링 운동을, 대조군은 진동자극을 동반하지 않은 슬링 운동을 적용하였다. 중재를 시작하기 전에 두 군 모두에게 어깨 관절의 관절가동범위, 어깨 주위근의 근력, 어깨 관절의 통증 수준, 한국어판 SPADI 평가와 그리고 어깨 관절에 대한 정형의학적 특수 검사를 각각 측정하였고, 3주후와 6주후에 각각 재평가하였다.

나. 운동 중재 프로그램

대조군에게는 어깨 관절 주위근에 신경근 조절 재활성화를 목적으로 노르웨이에서 개발된 슬링 운동프로그램인 “뉴랙(Neurac)” 기법 중 임상에서 상지에 일반적으로 적용하는 6가지 운동 기법을 모든 동작을 진행할 때 통증이 발생하는 각도 이전까지 적용하였다. 각 슬링 운동은 동작별로 5회 반복, 3세트를 실시하였고, 각 세트 간에 근 피로도를 줄이기 위해 1분 동안 휴식을 취하도록 하였다. 실험군은 대조군에게 적용한 운동방법을 동일하게 적용하였고, 이에 추가적으로 슬링 운동 시에 슬링 장비를 구성하는 두 개의 줄을 통해 진동 자극을 적용하였다. 진동 자극의 발생은 스티뮬라(Redcord Stimula⁺, Redcord A/S, Norway) 장비를 이용하였다. 휴식 시에는 진동 자극을 가하지 않았다. 진동 자극의 적용 강도는 이 진동 장비에 부착된 강도 조절 장치에 에너지 레벨 3(범위 1~3)과 50 Hz(범위 15~99 Hz)의 진동 주파수를 설정하여 자극을 제공하였다. 구성된 슬링 운동 방법들은 바로 누운 자세에서 골반 올리기

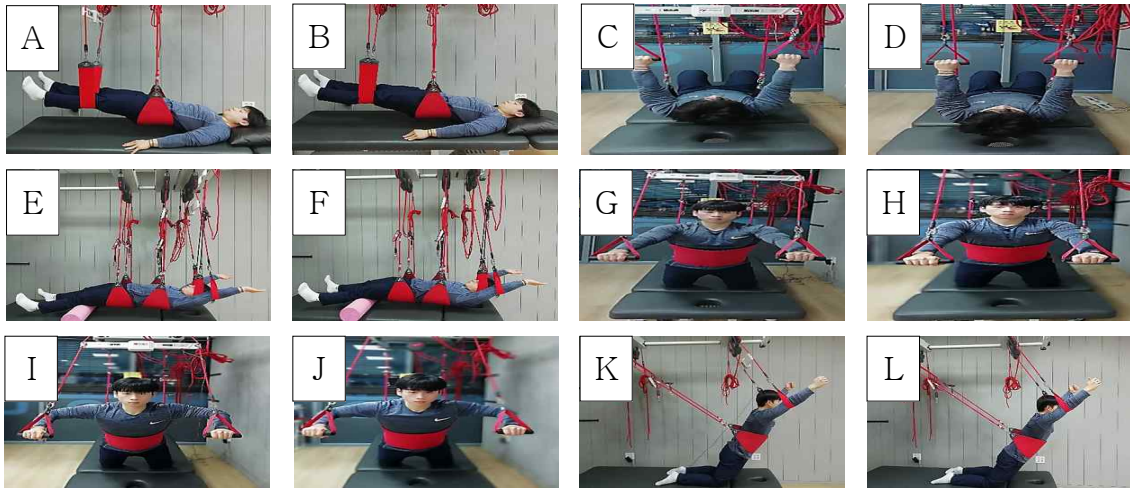


Figure 2. Sling exercises (A: supine pelvic lift with vibration, B: supine pelvic lift, C: supine scapular retraction with vibration, D: supine scapular retraction, E: supine shoulder abduction with vibration F: supine shoulder abduction, G: kneeling scapular protraction with vibration, H: kneeling scapular protraction I: kneeling scapular push-up with vibration J: kneeling scapular push-up K: kneeling shoulder extension with vibration L: kneeling shoulder extension)

(supine pelvic lift) 운동과 바로 누운 자세에서 어깨뼈 뒤 당기기(supine scapular retraction) 운동, 바로 누운 자세에서 어깨 벌리기(supine shoulder abduction) 운동, 무릎 꿇고 어깨뼈 내밀기(kneeling scapular protraction) 운동, 무릎 꿇고 어깨뼈 푸시-업(kneeling scapular push-up) 운동, 무릎 꿇고 어깨 펴기(kneeling shoulder extension) 운동으로 구성되어 있다(Figure 2).

4. 분석방법

모든 자료의 통계처리는 윈도우용 SPSS ver. 25.0 프로그램(IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하였다. 실험군과 대조군의 일반적 특성은 기술통계를 이용하여 분석하였고, 측정된 모든 변수의 평균과 표준편차를 산출하였다. 정규성 검정을 위하여 측정된 변수들은 샤피로-윌크 검정(Shapiro-Wilk test)을 실시하였다. 중재 전과 중재 3주후, 6주후 간에 실험군과 대조군에 측정변수들의 변화 양상에 비교를 위해 개체간 요인이 있는 반복측정 분산분석(repeated measure analysis of variance)을 시행한 후, 유의한 차이가 있는 경우 사후 검정으로 본페로니(Bonferroni) 검정을 실시하였다. 어깨 부위에 실시한 정형의학적 특수 검사들의 결과 특성을 비교하기 위해 측정시점 별로 두 군 간에 특수 검사의 양성 반응 수를 프리드먼(Friedman) 검정을 이용해 비교하였고, 사후검정으로 윌콕슨 부호 순위(Wilcoxon signed rank) 검정을 이용하였다. 통계학적 유의성 검

정을 위해 α 수준은 .05로 하였다.

Table 1. General characteristics of subjects

Variables	EG ^a (n ₁ =11)	CG ^b (n ₂ =11)	χ^2/t
Gender (Male/Female)	5/6	4/7	.188
Age (year)	43.9±12.7 ^c	49.2±5.7	-1.256
Weight (kg)	61.5±9.3	61.3±10.9	.042
Height (cm)	163.5±12.3	162.1±7.4	.335
BMI ^d (kg/m ²)	22.9±1.6	23.3±3.4	-.309
Pain side (right/left)	7/4	5/6	.733
Symptom onset time (month)	8.2±7.1	9.1±6.5	-.314
Medical diagnosis			
Rotator cuff repair	1(9.1%)	4(36.3%)	
Adhesive capsulitis	7(63.6%)	2(18.2%)	
SLAP ^e	1(9.1%)	1(9.1%)	5.244
Calcific tendinitis	1(9.1%)	2(18.2%)	
Impingement syndrome	1(9.1%)	2(18.2%)	

^aexperimental group, ^bcontrol group, ^cmean±standard deviation, ^dbody mass index, ^esuperior labral anterior to posterior lesion, *p<.05.

Table 2. Comparison of changes in range of motion and muscle strength of shoulder joint between the groups at the time of measurement

		EG ^a (n ₁ =11)	CG ^b (n ₂ =11)	t	F (group x time)
Flexion ROM ^c (°)	Baseline	93.77±41.85 ^d	109.23±27.38	-1.025	2.211
	3 weeks	134.95±21.67 [†]	132.55±32.62 [†]	.204	
	6 weeks	152.00±13.77 ^{† ‡}	155.50±15.8 ^{6† ‡}	-.553	
	F	12.408 ^{**}	38.314 ^{**}		
Abduction ROM (°)	Baseline	65.32±45.70	70.23±37.88	-.274	.609
	3 weeks	107.64±29.83 [†]	100.36±42.04 [†]	.468	
	6 weeks	133.36±33.16 ^{† ‡}	123.27±36.70 ^{† ‡}	.677	
	F	10.161 ^{**}	35.706 ^{**}		
External rotation ROM (°)	Baseline	22.82±32.21	33.95±28.68	-.856	3.652 [*]
	3 weeks	46.09±28.53 [†]	43.23±22.77	.260	
	6 weeks	50.77±27.51 [†]	53.36±21.54 ^{† ‡}	-.246	
	F	7.177 [*]	14.288 ^{**}		
Internal rotation ROM (°)	Baseline	46.09±26.72	45.95±19.98	.014	.177
	3 weeks	71.64±13.12 [†]	67.00±15.81 [†]	.748	
	6 weeks	83.00±8.44 ^{† ‡}	77.55±13.28 ^{† ‡}	1.150	
	F	23.631 ^{**}	14.706 ^{**}		
Flexor strength (N)	Baseline	22.30±18.45	33.80±16.62	-1.535	4.247 [*]
	3 weeks	41.66±19.94 [†]	41.29±18.90	.045	
	6 weeks	55.70±23.50 ^{† ‡}	46.80±16.47	1.029	
	F	18.569 ^{**}	5.037 [*]		
Abductor strength (N)	Baseline	17.81±20.46	20.20±12.87	-.327	1.086
	3 weeks	33.26±17.80 [†]	30.03±15.84 [†]	.450	
	6 weeks	43.81±18.52 ^{† ‡}	38.95±15.65 [†]	.665	
	F	24.499 ^{**}	12.007 ^{**}		
External rotator strength (N)	Baseline	24.55±25.51	21.51±14.03	.347	.389
	3 weeks	44.45±21.51 [†]	36.22±14.60 [†]	1.051	
	6 weeks	57.35±26.14 ^{† ‡}	48.95±16.96 ^{† ‡}	.895	
	F	18.873 ^{**}	17.065 ^{**}		
Internal rotator strength (N)	Baseline	30.42±18.55	32.63±14.17	-.314	.459
	3 weeks	53.58±15.56 [†]	49.25±18.27 [†]	.598	
	6 weeks	66.04±19.94 ^{† ‡}	63.75±15.30 ^{† ‡}	.301	
	F	18.641 ^{**}	27.494 ^{**}		

^aexperimental group, ^bcontrol group, ^crange of motion, ^dmean±standard deviation, [†] There is a significant difference from baseline (p<.05), [‡] There is a significant difference from 3 week (p<.05), ^{*}p<.05, ^{**}p<.01.

III. 결과

1. 연구대상자의 일반적 특성

본 연구는 연구대상자의 일반적 특성을 Table 1에

제시하였다. 참여한 실험군 11명과 대조군 11명으로 성별, 평균 연령과 평균 체중, 평균 신장, 체질량지수, 통증 부위, 증상의 발병 시기는 실험군과 대조군 간에 유의한 차이가 없었다. 의학적 진단명도 두 군 간에 유의

Table 3. Comparison of changes in pain and dysfunction of shoulder between the groups at the time of measurement

Variables		EG ^a (n ₁ =11)	CG ^b (n ₂ =11)	t	F (group x time)
VAS ^c	Baseline	8.27±1.19 ^d	8.09±1.30	.342	2.081
	3 weeks	4.64±1.63 [†]	5.27±1.56 [†]	-.937	
	6 weeks	1.73±2.33 ^{†*}	3.40±1.62 ^{†*}	-1.954	
	F	33.724 ^{**}	43.229 ^{**}		
SPADI ^e (pain)	Baseline	28.55±10.23	29.73±10.16	-.272	.257
	3 weeks	17.18±5.81 [†]	20.09±7.35	-1.029	
	6 weeks	12.18±7.65 [†]	13.20±9.96 [†]	-.269	
	F	7.205 [*]	14.515 ^{**}		
SPADI (disability)	Baseline	34.45±19.26	40.27±14.74	-.796	.061
	3 weeks	21.18±12.78	24.82±9.03 [†]	-.771	
	6 weeks	12.64±9.63 ^{†*}	15.70±14.42 ^{†*}	-.586	
	F	13.554 ^{**}	17.401 ^{**}		
SPADI (total)	Baseline	63.00±27.16	70.00±24.02	-.640	.090
	3 weeks	38.36±15.96 [†]	44.91±13.45 [†]	-1.040	
	6 weeks	24.82±16.44 ^{†*}	28.90±23.56 [†]	-.471	
	F	10.962 ^{**}	16.794 ^{**}		

^aexperimental group, ^bcontrol group, ^cvisual analogue scale, ^dmean±standard deviation, ^eshoulder pain and disability index [†]There is a significant difference from baseline (p<.05), ^{*}There is a significant difference from 3 week (p<.05), ^{*}p<.05, ^{**}p<.01.

한 차이가 없었다.

다(p<.05).

2. 실험군과 대조군 간에 어깨 관절가동범위와 근력의 변화 양상 비교

중재 후에 측정 시점에 따른 실험군과 대조군 간에 어깨 관절가동범위와 근력의 변화 양상을 Table 2에 제시하였다. 어깨관절의 가쪽돌림 관절가동범위는 군과 측정시점 간에 유의한 상호작용이 있었다(F=3.652, p<.05). 두 군 모두 측정시점 간에 가쪽돌림 각도의 유의한 증가가 있었다(p<.05). 사후검정 결과, 실험군은 6주후와 3주후가 각각 기초선에 비해 유의한 증가가 있었고(p<.05), 대조군은 기초선과 6주후에, 3주후와 6주후 간에 각각 유의한 차이가 있었다(p<.05). 어깨관절의 굽힘근 근력은 군과 측정시점 간에 유의한 상호작용이 있었다(F=4.247, p<.05). 실험군(p<.01)과 대조군(p<.05) 모두 세 측정시점 간에 어깨 굽힘 근력의 유의한 증가를 보였다. 사후검정 결과, 실험군에서만 6주후가 기초선과 3주후에 비교해 각각 유의한 증가가 있었고(p<.01), 6주후와 3주후 간에도 유의한 차이가 있었

3. 실험군과 대조군 간에 통증 수준과 기능장애 수준의 변화 양상 비교

Table 3에 중재 후 측정 시점에 따른 실험군과 대조군 간에 통증과 기능장애 수준의 변화 양상을 제시하였다. 어깨 관절의 통증 수준은 두 군 모두 측정시점 간에 통증 수준이 감소하였고(p<.01) 군과 측정시점 간에 유의한 상호 작용은 없었다. 기능장애 수준을 알아보기 위해 SPADI-P, SPADI-D, SPADI 총점수를 각각 평가하였다. SPADI-P, SPADI-D, SPADI 모두 측정시점 간에 유의한 감소가 있었으나, 군과 측정시점 간에 유의한 상호 작용은 없었다.

4. 실험군과 대조군에 따른 정형의학적 특수 검사의 변화 양상 비교

중재 후 측정시점에 따라 어깨 관절부에 시행한 정형의학적 검사들의 결과에 변화 양상을 비교하였다 (Table 4). 두 군 모두 어깨 관절에 정형의학적 검사들

Table 4. Comparison of changes in orthopedic tests for shoulder joint between the groups at the time of measurement

Special tests (+ response)	EG ^a (n ₁ =11)	CG ^b (n ₂ =11)	F
Baseline	4.18±1.17 ^c	4.18±1.17	.500
3 weeks	2.27±1.27 [†]	2.45±1.21 [†]	
6 weeks	1.00±1.10 ^{†*}	1.45±.93 ^{†*}	
χ^2	<.001 [*]	<.001 [*]	

^aexperimental group, ^bcontrol group, ^cmean (number) ±standard deviation, [†] There is a significant difference from baseline (p<.05), ^{*} There is a significant difference from 3 weeks (p<.05), ^{*}p<.01.

의 양성 반응 수에 변화 양상은 측정시점 간에 유의한 감소가 있었다(p<.01). 그러나 어깨 관절의 정형의학적 검사들에 양성 반응의 수는 군과 측정시점 간에 유의한 상호 작용은 없었다.

IV. 고찰

본 연구에 사용된 운동 동작은 체간의 안정성(코어 근육)을 자극함과 동시에 상지의 움직임을 통해 어깨 관절부 손상 환자의 관절 주변 근육의 활성화로 운동조절 능력을 증가시키는데 목적을 두었다. 엉덩관절과 체간의 움직임 활용하여 얻을 수 있는 이점은 인접한 관절 주변의 근육들을 적절히 동원시킨다는 것이다. 이러한 유형의 운동 패턴은 어깨 재활 과정이 진행됨에 따라 구축 될 수 있는 엉덩이와 체간 운동의 순차적 근육 활성화 프로그램을 촉진시킬 수 있다(Zattara 등, 1988). 또한, 어깨의 움직임을 개선시키는 치료 방법 중 하나인 고유감각신경근 촉진법의 관점에서, 어깨 움직임을 개선시키기 위해 어깨 관절의 회전 패턴을 활용하여 중심성 수축-편심성 수축 근육 활성화를 유도함으로써 어깨 회전을 더 촉진시킬 수 있다(Comel 등, 2018). 또 다른 연구에서, 돌림근띠 수술 후 재활 프로토콜을 시행하기 전에 많은 요소를 고려해야 하는데, 이 단계에서 관절주머니-인대 구조를 스트레칭하기 위한 운동, 특히 전후방 및 후위 관절주머니에 운동 범위를 지속적으로 관리해야 하고 이와 함께 어깨뼈 안정화의 고유감각 기능과 어깨뼈의 올바른 위치 결정에 필수적인 ‘코

어’ 안정화(복부, 배바깥근, 등쪽 그리고 엉덩이 근육) 근육들이 중요하다고 하였다(Conti 등, 2009). 특히, 슬링 시스템과 진동 자극을 함께 사용할 경우 코어 근육과 앞뿔근의 근활성도에 유의하게 활성화 되어 어깨뼈 안정화에 긍정적 영향을 미쳤다(Choi 등, 2013; Kim 등, 2014). 이러한 어깨뼈 안정화는 어깨 관절이 적절한 위치에 있게끔 하는데 기여하며(Hotta 등, 2018; Struyf 등, 2011), 그 결과 어깨뼈와 어깨 관절의 충돌이나 불안정성을 감소시킬 수 있다. 또한 코어 근육이나 어깨뼈의 기능이 감소할 경우 어깨 질환 환자에게 관절 주변의 기능적 변화가 일상생활 동작이 어렵게 만들기도 한다. 따라서 설치가 간편하며 코어 근육과 어깨 기능 회복을 동시에 효율적으로 자극시키기 위한 슬링 장비와 진동 자극 장비가 소개되어져 왔고 현재 많은 물리치료사나 건강관리전문가들이 병원이나 스포츠 현장, 가정 운동프로그램으로 각 목적에 따라 활용되고 있다.

이론적으로 진동 자극 시 근방추에 구심성 운동신경은 근육 스트레칭에 더 민감하게 반응하여 알파 운동신경원의 활성화를 증가시키고 이러한 반응은 운동단위 동원을 증가하고 발화율 주파수 증가와 근 수축을 향상시키고 근육이 빠르게 스트레칭 될 때 근수축이 더 빠르게 진행되었다(Bosco 등, 1999). 그리고 긴장성 진동 반사는 많은 수의 근방추를 흥분시켰고, 많은 α-운동신경원을 작동시켰다(Luo 등, 2005). 또한 Cardinale과 Bosco(2003)는 진동을 동반한 운동은 EMG 활동에서 뒤뿔다리근의 유연성 향상으로 인해 수직 높이의 증가와 엉덩이 관절에 대한 운동범위 증가가 모두 나타났다고 하였다. 본 연구에서 어깨의 관절가동범위는, 어깨 관절의 가쪽돌림 각도가 6주간 중재 후에 대조군에서 57.17% 증가한 것에 비해, 실험군에서는 122.48% 증가되었고, 군 내와 군 간에 모두 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 진동자극 장비를 활용한 다른 연구에서도, 유착성 관절낭염 환자에 어깨 가쪽돌림 각도의 변화는 전기치료를 적용한 대조군은 41.03°에서 4주후 45.33°로 가동범위가 증가된 반면 실험군(진동자극 적용군)에서는 중재 전에 40.08°에서 4주후 60.02°로 유의한 차이가 있었으며(Choi 등, 2015), 어깨 가쪽돌림의 관절가동성 증가는 본 연구와 유사한 경향을 보였다. 이에 반해, 핸드헬드(handheld) 진동 자극(15 Hz)을 활용한 연구에서는 어깨 관절의 가쪽돌림 가동성에 차이는 없었지만, 어깨의 안쪽돌림 가동범위는 6.8%의 유의한 증가를 보였다(Tripp 등, 2009). 이것은 본 연구의 결과와 상반된

결과로 이용한 진동자극의 주파수와 파형에 차이와 측정된 자세의 차이로 인한 결과라고 판단된다. 본 연구에서는 무릎 꿇기 자세에서 어깨뼈 푸시-업 운동을 실시하였고, 어깨뼈의 근육 활성화에 초점이 맞춘 동작들이 포함되었으나 위의 연구에서는 바로 누운 자세에서 실시된 연구이기 때문에 유사한 진동 자극을 이용했음에도 상의한 결과가 나온 것으로 예상된다. 본 연구에서 어깨 굽힘근의 최대 근력은 대조군에서 중재 전 38.36% 증가된 것에 비해, 실험군에서는 149.77%의 근력 증가를 보였고, 군 내와 군 간에 모두 유의한 차이가 있었다. 진동 자극과 관련된 선행 연구에서는, 대조군(진동 비적용군)에 비해 실험군(진동 적용군)은 팔꿈치 굽힘 시 최대 근력이 대조군에서는 10.45% 증가한 것에 비해 실험군에서는 24.19%의 유의한 차이가 나타나 본 연구결과와 유사함을 보였다(Silva 등, 2008). 본 연구에서 적용한 무릎 꿇기 자세에서 어깨뼈 내뺄기 운동 시 적용한 국소 진동기의 주파수 자극에 의한 앞뺄기근의 근활성도는, 진동 비적용군(64.8%)에 비해 50 Hz 적용군(85.6%)에서 유의하게 높게 나타났다(Kim 등, 2014). Ludewig 등(1996)은 25명의 건강한 성인들이 어깨뼈 푸시-업 운동을 수행할 때 앞뺄기근의 근활성도가 123% 증가되었고, 위등세모근의 활성도는 억제되었으며 이를 통해 앞뺄기근을 선택적으로 자극시킬 수 있었다고 보고하였다. 결국, 어깨 관절과 어깨뼈에 앞뺄기근이 중요하게 기여하는 이유는 어깨뼈를 전방과 상방 회전시켜 어깨뼈를 안정화시키는데 중요한 역할을 하며 동시에 어깨 관절의 굽힘 시에 위팔-어깨관절 리듬을 통해 어깨 관절 내에 충격을 피하게 하는데 중요한 역할을 한다. 그러나 어깨 관절의 움직임 시에 적절하지 않은 주파수를 적용하면 어깨 주위근들의 수축력에 부정적인 역할을 한다고 하였다. Kim 등(2014) 연구에서는 30 Hz(76.5%)와 90 Hz(66.1%) 적용 시 모두 진동자극 미적용군에 비해 유의한 차이가 나타나지 않았다. Luo(2005)는 20~50 Hz 자극의 진동 자극을 권장하였고, 이와 함께 신경자극을 통한 어깨의 국소 부위 자극을 위한 주파수로 50 Hz가 가장 적절한 범위라고 확인하였다. 진동 자극 이외에도 슬링 운동 시 추가 적용할 수 있는 체중 부하와 같은 여러 요인들이 결과에 영향을 미칠 수 있다. 국소 진동기의 고정된 진폭을 활용하더라도 슬링의 체중 부하는 로프의 길이와 장력에 따라 변경되기 때문에 자극의 진폭과 가속도를 일정하게 유지하는 데는 어려움이 있는 것으로 알려져 있다(Lapole 등, 2010). 따라서 환자를

대상으로 슬링 운동 장비를 이용할 경우 물리치료사의 많은 경험과 세심한 관찰이 필요하다.

본 연구에는 몇 가지 제한점이 있는데, 어깨에 의학적 진단을 받은 다양한 분류의 질환자를 모두 대상자에 포함시켰으므로 질환명에 따른 대상자들의 임상적 특성들이 어느 정도는 영향을 미칠 수 있었을 것이다. 향후 연구에서는 영향을 줄 수 있는 이러한 변수와 진동자극의 주파수 별로 효과의 비교 연구와 동일한 진단명의 질환자를 대상으로 한 연구, 또한 표본의 수를 더 증가시킨 연구들이 계속 시도되기를 기대한다.

V. 결론

본 연구는 어깨 질환자를 22명을 대상으로 6주간 슬링 운동프로그램을 적용하였고, 이때 50 Hz의 진동 자극을 함께 적용한 실험군(11명)과 적용하지 않은 대조군(11명) 간에 어깨 관절의 관절가동범위와 근력, 통증 수준 그리고 기능장애 수준과 정형의학적 특수 검사를 평가하였다. 중재 전과 중재 3주후 그리고 중재 6주후에 재평가하였고, 두 군 간에 측정시점에 따른 측정 변수들의 변화 양상을 비교 분석하였다. 그 결과 중재 후에 어깨 관절의 가쪽돌림 관절가동범위는 두 군 모두 측정시점 간에 가쪽돌림 각도의 유의한 증가가 있었다($p<.05$). 군과 측정시점 간에 유의한 상호작용도 있었다($F=3.652, p<.05$). 어깨 관절의 굽힘근 근력은 실험군($p<.01$)과 대조군($p<.05$) 모두 측정시점 간에 어깨 굽힘 근력의 유의한 증가를 보였다. 그리고 이 근력 수준은 군과 측정시점 간에 유의한 상호작용이 있었다($F=4.247, p<.05$). 결론적으로 어깨 손상 환자의 운동 재활 시에 진동을 동반한 슬링운동을 적용한 실험군과 슬링 운동만 적용한 대조군 모두 중재 전후에 측정된 모든 변수들이 유의한 변화를 보였으나, 측정변수의 변화양상이 두 군 간에 차이를 보인 경우는 가쪽돌림 관절가동범위와 어깨 굽힘근의 근력 변수만이 유의한 상호작용을 보였다.

References

Bazett-Jones DM, Finch HW, Dugan EL. Comparing the effects of various whole-body vibration ac-

- celerations on counter-movement jump performance. *J Sports Sci Med*. 2008;7(1):144-150.
- Bussieres AE, Peterson C, Taylor JA. Diagnostic imaging guideline for musculoskeletal complaints in adults—an evidence-based approach; Part 2. upper extremity disorders. *J Manipulative Physiol Ther*. 2008;31(1):2-32. <http://doi.org/10.1016/j.jmpt.2007.11.002>
- Cardinale M, Bosco C. The use of vibration as an exercise intervention. *Exerc Sport Sci Rev*. 2003; 31(1):3-7.
- Choi WH, Lee JH, Min DK, et al. The effect of the range of motion of joint with vibratory stimulation of the patients of adhesive capsulitis of the shoulder. *J Convergence on Culture Technology*. 2015;1(2):77-83. <http://doi.org/10.17703/JCCT.2015.1.2.77>
- Comel JC, Nery RM, Garcia EL, et al. A comparative study on the recruitment of shoulder stabilizing muscles and types of exercises. *J Exerc Rehabil*. 2018;14(2):219-225. <http://doi.org/10.12965/jer.1835198.599>.
- Conti M, Garofalo R, Delle Rose G, et al. Post-operative rehabilitation after surgical repair of the rotator cuff. *Chir Organi Mov*. 2009;93(Suppl 1): 55. <http://doi.org/10.1007/s12306-009-0003-9>
- Dollings H, Sandford F, O'conaire E, et al. Shoulder strength testing: The intra- and inter-tester reliability of routine clinical tests, using the Powertrack™ II Commander. *Shoulder & Elbow*, 2012;4(2):131-140. <https://doi.org/10.1111/j.1758-5740.2011.00162.x>
- Eklund G, Hagbarth KE. Normal variability of tonic vibration reflexes in man. *Exp Neurol*. 1966;16(1): 80-92. [https://doi.org/10.1016/0014-4886\(66\)90088-4](https://doi.org/10.1016/0014-4886(66)90088-4)
- Hegedus EJ, Goode AP, Cook CE, et al. Which physical examination tests provide clinicians with the most value when examining the shoulder? Update of a systematic review with meta-analysis of individual tests. *Br J Sports Med*. 2012; 46(14):964-978. <http://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091066>
- Hotta GH, Santos AL, McQuade KJ, et al. Scapular-focused exercise treatment protocol for shoulder impingement symptoms: Three-dimensional scapular kinematics analysis. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2018;51:76-81. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2017.12.005>
- House J, Mooradian A. Evaluation and management of shoulder pain in primary care clinics. *South Med J*. 2010;103(11):1129-1135; <http://doi.org/10.1097/SMJ.0b013e3181f5e85f>
- Huang JS, Pietrosimone BG, Ingersoll CD, et al. Sling exercise and traditional warm-up have similar effects on the velocity and accuracy of throwing. *J Strength Cond Res*. 2011;25(6):1673-1679. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181da7845>
- Issurin VB, Liebermann DG, Tenenbaum G. Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *J Sports Sci*. 1994;12(6):561-566. <http://doi.org/10.1080/02640419408732206>
- Kim ER, Oh JS, Yoo WG. Effect of vibration frequency on serratus anterior muscle activity during performance of the push-up plus with a Redcord sling. *J Phys Ther Sci*. 2014;26(8):1275-1276. <http://doi.org/10.1589/jpts.26.1275>
- Kuijpers T, van der Windt DA, Boeke AJ, et al. Clinical prediction rules for the prognosis of shoulder pain in general practice. *Pain*. 2006; 120(3):276-285. <http://doi.org/10.1016/j.pain.2005.11.004>
- Lapole T, Pérot C. Effects of repeated achilles tendon vibration on triceps surae force production. *J Electromyogr Kinesiol*. 2010;20(4):648-654. <http://doi.org/10.1016/j.jelekin.2010.02.001>
- Linaker CH, Walker-Bone K. Shoulder disorders and occupation. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2015; 29(3):405-423. <http://doi.org/10.1016/j.berh.2015.04.001>
- Ludewig PM, Cook TM, Nawoczenski DA. Three-dimensional scapular orientation and muscle activity at selected positions of humeral elevation. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1996;24(2):57-65. <https://doi.org/10.2519/jospt.1996.24.2.57>

- Luo J, McNamara B, Moran K. The use of vibration training to enhance muscle strength and power. *Sports Med.* 2005;35(1):23-41. <http://doi.org/10.2165/00007256-200535010-00003>
- Mitchell C, Adebajo A, Hay E, et al. Shoulder pain: Diagnosis and management in primary care. *BMJ.* 2005;331(7525):1124-1128. <http://doi.org/10.1136/bmj.331.7525.1124>
- Page MJ, Green S, Kramer S, et al. Electrotherapy modalities for adhesive capsulitis (frozen shoulder). *Cochrane Database Syst Rev.* 2014;10:CD011324. <http://doi.org/10.1002/14651858.CD011324>
- Park IW, Lim OB, Park KN, et al. Intra- and inter-rater reliability of measuring passive range of shoulder motion with smartphone and goniometer in patients with stroke. *Phys Ther Kor.* 2014;21(1):1-12. <http://doi.org/10.12674/ptk.2014.21.1.001>
- Prokopy MP, Ingersoll CD, Nordenschild E, et al. Closed-kinetic chain upper body training improves throwing performance of NCAA Division I softball players. *J Strength Cond Res.* 2008; 22(6):1790-1798. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318185f637>
- Rittweger J. Vibration as an exercise modality: How it may work, and what its potential might be. *Eur J Appl Physiol.* 2010;108(5):877-904. <http://doi.org/10.1007/s00421-009-1303-3>
- Roach KE, Budiman-Mak E, Songsiridej N, et al. Development of a shoulder pain and disability index. *Arthritis Care Res.* 1991;4(4):143-149. <http://doi.org/10.1002/art.1790040403>
- Roelants M, Verschueren SM, Delecluse C, et al. Whole-body-vibration-induced increase in leg muscle activity during different squat exercises. *J Strength Cond Res.* 2006;20(1):124-129.
- Roll JP, Vedel JP, Ribot E. Alteration of proprioceptive messages induced by tendon vibration in man: A microneurographic study. *Exp Brain Res.* 1989;76(1):213-222.
- Saltychev M, Aarimaa V, Virolainen P, et al. Conservative treatment or surgery for shoulder impingement: Systematic review and meta-analysis. *Disabil Rehabil.* 2015;37(1):1-8. <http://doi.org/10.3109/09638288.2014.907364>
- Seo HD, Lee KW, Jung KS, et al. Reliability and validity of the Korean version of shoulder pain and disability index. *Journal of Special Education & Rehabilitation Science.* 2012;51(2): 319-336.
- Silva HR, Couto BP, Szmuchrowski LA. Effects of mechanical vibration applied in the opposite direction of muscle shortening on maximal isometric strength. *J Strength Cond Res.* 2008; 22(4):1031-1036. <http://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816a41a1>
- Stanton R, Reaburn PR, Humphries B. The effect of short-term Swiss ball training on core stability and running economy. *J Strength Cond Res.* 2004;18(3):522-528.
- Struyf F, Geraets J, Noten S, et al. a multivariable prediction model for the chronification of non-traumatic shoulder pain: A systematic review. *Pain Physician.* 2016;19(2):1-10.
- Struyf F, Nijs J, Baeyens JP, et al. Scapular positioning and movement in unimpaired shoulders, shoulder impingement syndrome, and glenohumeral instability. *Scand J Med Sci Sports.* 2011;21(3):352-358. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01274.x>
- Tripp BL, Eberman LE, Dwelly PM. Handheld vibration effects shoulder motion. *Int J Sports Med.* 2009;30(12):868-871. <http://doi.org/10.1055/s-0029-1238288>
- Vikne J, Oedegaard A, Laerum E, et al. A randomized study of new sling exercise treatment vs traditional physiotherapy for patients with chronic whiplash-associated disorders with unsettled compensation claims. *J Rehabil Med.* 2007;39(3):252-259. <http://doi.org/10.2340/16501977-0049>
- Wagner DR, Tatsugawa K, Parker D, et al. Reliability and utility of a visual analog scale for the assessment of acute mountain sickness. *High*

Alt Med Biol. 2007;8(1):27-31. <http://doi.org/10.1089/ham.2006.0814>

Zattara M, Bouisset S. Posturo-kinetic organisation during the early phase of voluntary upper limb movement. 1. Normal subjects. J Neurol Neurosurg Psychiatry. 1988;51(7):956-965. <http://doi.org/10.1136/jnmp.51.7.956>

1136/jnmp.51.7.956

This article was received May 3, 2019, was reviewed May 3, 2019, and was accepted June 3, 2019.