

## Effects of a single bout of eccentric exercise on muscle swelling, imaging and mechanical properties in upper limb: Application of vibration

Min-young Choi & Maeng-kyu Kim\*

Kyungpook National University

**[Purpose]** The purpose of this study was to investigate the effect of vibration therapy on the functional, imaging, and mechanical properties in elbow flexor after a single bout eccentric exercise. **[Methods]** Twenty-three untrained adults male participated in this study [CON(control)= 11, VT(vibration)= 12]. Volunteers performed 5-set of 6 maximal (90°/s) eccentric contractions of the non-dominant elbow flexor on a isokinetic dynamometer. Vibration was applied using a side alternating vibratory platform (12 Hz frequency, 4 mm amplitude) with 3-set of 60 sec during 3-day after eccentric exercise. **[Results]** The VT group showed a reduction in exercised-induced muscle damage(EIMD) symptoms in the form of attenuating muscle swelling and echo intensity ( $P<.05$ ) compared with the CON, mechanical properties were improvement ( $P<.05$ ) compared with the CON. However, muscle soreness, range of motion and maximal voluntary isometric contraction were not significant ( $P<.05$ ). **[Conclusion]** As currently practiced, vibration therapy after eccentric exercise may reduce EIMD by improving quality of the muscle, suggesting that this therapy is an effective strategy for EIMD.

**Key words:** Eccentric exercise, exercise-induced muscle damage, vibration therapy, echo intensity

### 서론

익숙하지 않는 강도 높은 편심성 운동(eccentric exercise)은 주로 운동유발성 근손상(Exercise-induced muscle damage, EIMD)을 발생시킨다(Connolly et al., 2003). 고부하 또는 반복적인 편심성 수축(eccentric contraction)은 근육이 길어지면서 근육 내 구조의 파괴를 일으켜 근육의 염증, 통증(muscle soreness) 그리고 기능 감소를 초래한다(Byrne et al., 2004). 구체적으로 EIMD의 전형적인 증상은 혈중 크레아틴 키나아제(creatine kinase, CK)유출, 호중성백혈구(neutrophil)

증가, 관절가동범위 감소, 근력손실(force loss), 통증, 뻣뻣함 및 부종(swelling) 등이 나타난다. 특히 지연성근통증(delayed onset muscle soreness, DOMS)이라는 특수한 통증이 발현한다. 실제 구심성(concentric) 또는 등척성(isometric) 수축도 EIMD에 의한 DOMS도 나타나지만, 편심성 수축 시 상대적으로 더 높은 강도로 발현된다(Cheung et al., 2003). DOMS는 운동 직후에는 명확한 증상이 나타나지 않지만, 운동 후 24시간부터 증가하여 72시간 내에 최대치에 이르고 통증이 7일 내에 거의 안정되며 이후 대부분 소실된다(Armstrong, 1984). 하지만 이러한 통증은 일상생활에 영향을 미치고 더 나아가 스포츠 활동 및 트레이닝에서 근기능 감소를 발생시켜 운동 수행력 제한을 야기한다. 특히 지속적인 활동 및 훈련을 실시할 경우 상대적 상해 위험률로 인해 운동수행력 향상 및 상해예방 차원에서 DOMS를 감소시키는 것은 인체

논문 투고일 : 2019. 05. 28.

논문 수정일 : 2019. 08. 22.

게재 확정일 : 2019. 09. 16.

\* 교신저자 : 김맹규(kimmk@knu.ac.kr).

\* 이 논문은 최민영의 석사 논문을 수정 보완한 것임.

컨디션 관리에서 매우 중요하다.

현재까지 운동수행력 저하 원인인 EIMD를 감소시키기 위한 전략으로 많은 연구들이 실시되었다. 이를테면 비스테로이드성 항염증제(nonsteroidal anti-inflammatory drugs)를 이용한 연구, 마사지, 스트레칭, 전기자극 요법(electrical stimulation therapy), 냉처치 요법(cryotherapy) 등을 이용한 다양한 연구들이 이루어져 왔다(Eston & Peters 1999; Pizza et al., 1999; Rodenburg et al., 1994; Yackzan et al., 1984; Zhang et al., 2000).

최근 들어 진동처치(vibration therapy)가 EIMD의 간접적 지표들의 감소에 긍정적인 효과가 있는 것으로 보고 되었고(Rhea et al., 2009), 근손상에 대한 빠른 회복이 필요한 운동선수 및 일반인들에게 사용되어지고 있다. 전신진동(Whole body vibration, WBV)의 메커니즘은 신경근 활동(neuromuscular activity)을 유도하여 근육을 기계적으로 활성화시키는 것으로 근 트레이닝 혹은 기능재활을 목적으로 사용하고 있으며, 운동선수뿐만 아니라 일반인들도 접근성이 용이하고 다른 EIMD 회복에 대한 처치방법들에 비해 경제적인 비용 문제, 신체에 대한 부담 및 적용환경 등의 제한점이 적다는 장점을 가지고 있다. Lau & Nosaka (2011)는 팔꿈치 굴근의 편심성 운동 후 휴대용 진동기기를 사용하여 진동처치와 비 처치 간 관절가동범위가 통계적으로 유의미한 감소의 결과를 도출하였고, Aminian 등(2011)은 대퇴사두근에 대한 편심성 운동 전 WBV의 플랫폼에서 하프스쿼트(half-squat) 자세로 35 Hz의 강도로 1분간 실시하여 CK 활성, 압통(pain pressure threshold, PPT) 및 근력 감소에서 진동처치그룹이 비 처치그룹과 비교하여 통계적으로 유의미한 결과를 도출하였다.

앞서 언급한 선행 연구들과 같이 진동처치가 인체에 미치는 긍정적인 결과들의 보고도 있는 반면 진동의 부정적인 영향 및 결과를 초래하는 연구들도 적지 않다. Barnes 등(2012)은 무릎신근 즉 대퇴사두근에 대한 편심성 운동 후 WBV에서 26 Hz 강도로 1분간 5회 반복하여 처치를 하였음에도 불구하고 무릎신근의 근력이 오히려 감소했다고 보고하였다. 이와 같은 차이는 진동의 종류, 강도 그리고 연구 참여자의 특성에 따른 차이로 기인되며, 따라서 진동처치 시 가장 중요한 것은 종류 및 강도

로, 진동강도로 인해서 EIMD에 미치는 인체 운동학적 반응은 각기 상이할 것으로 보인다.

몇몇 선행 연구들은 근손상에 대한 영상학적 지표로 초음파(ultrasound)를 이용하였다. 팔꿈치 굴근에 대한 편심성 운동 후 초음파 반향세기(echo intensity)를 평가한 결과 운동 직후 120시간까지 증가하는 경향을 나타내고 있다(Chen et al., 2009). 초음파 반향세기는 근육 내 손상이 발생하여 염증반응의 증가를 반영하지만, 현재까지 편심성 운동 후 진동처치로 인한 영상학적 변화를 규명한 연구는 미흡한 실정이다. EIMD 관련 의 또 다른 지표로서 근육의 기계적 속성을 평가하고 있다. 즉 편심성 운동 후 근육의 기계적 속성(mechanical property)을 평가하는 기기로 연부조직 측정기(Myoton)는 비침습적으로 근육과 건의 동적경도 및 원형회복속도 등 여러 속성들을 평가할 수 있다. 편심성 운동 후 EIMD 관련 지표를 평가하는 연구에서 수동적 강직(passive stiffness)은 운동 직후부터 120시간까지 시간에 따른 유의한 증가를 나타내고 있다(Janecki et al., 2011).

편심성 운동과 EIMD의 변화를 측정 검토한 기존 문헌들에서 Bakhtiary 등(2007)은 내리막 달리기를 통한 편심성 운동 전 1분간의 진동처치가 통증, CK활성 및 근력 손실에서 처치그룹은 비 처치그룹에 비해 통계적으로 유의한 감소를 나타내었다고 보고하였고, Barnes 등(2012)은 등속성 기기를 이용한 편심성 운동 후 근력감소에서 전신진동처치의 영향에 대해 보고하였다. 이와 같이 선행연구들이 진동처치에 대한 효과를 일부 규명하였으나 현재까지는 대퇴부에 대한 연구가 주를 이루어져 왔고 상지에 대한 연구는 거의 미흡한 실정이다. 따라서 EIMD의 내재적 속성을 평가하기 위해 편심성 운동부위는 상대적으로 근육량이 적은 상지를 이용하여 평가할 필요가 있다. 따라서 본 연구는 등속성 근력기기를 활용한 팔꿈치 굴근의 편심성 운동 후 진동처치가 근 손상의 전형적인 지표들인 기능학적, 영상학적 및 근육의 기계적 속성에 미치는 영향을 평가하려는 목적으로 수행되었다. 즉 상지근육의 회복목적으로 설정한 진동이 EIMD의 간접적 지표에게 긍정적인 영향을 미치는지 판단할 수 있는 객관적인 자료가 될 것이다.

## 연구방법

### 연구대상

본 연구는 G\*power statistical software (version 3.1.9.2 for Windows; Heinrich Heine University, Dusseldorf, Germany)를 이용하여 집단의 표본 수를 산출하였다. Cohen이 제시한 F-분포에서 중간크기의 effect size (=0.25)를 선별하기 위한 표본 수를 계산하였으며 구체적인 산출기법은 다음과 같다. Repeated measures, within-between interactions, ANOVA approach 에서 각각의 input parameter들을 ①  $\alpha$  err prob (the probability for type I error) = 0.05, ② Power (1- $\beta$  err prob; type II error) = 0.8, ③ Number of groups = 2 (control and vibration group) 및 ④ Number of measurements = 5 (pre, post, 24, 48 and 72h)로 설정하여 표본 수를 산출한 결과 actual power는 0.84 수준에서 요구되는 total sample size는 최소 22명이었다. 본 연구는 경북대학교 생명윤리심의위원회로부터 승인 하에 수행되었으며(승인번호: KNU 2019-0014) 참여자들의 신체적 특징은 <Table 1>과 같다.

Table 1. Clinicla characteristic of subjects

Variables	CON (n=11)	VT (n=12)	p values
Age (yrs)	22.82 ± 0.53	22.92 ± 0.65	0.900
Height (cm)	174.24 ± 4.13	175.41 ± 1.60	0.667
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	22.35 ± 0.88	22.99 ± 0.85	0.644

Values are means ± SEM.

p values are calculated by Mann-Whitney U-test.

### 실험설계 및 절차

스포츠 활동을 하지 않고, 편심성 수축에 익숙하지 않는 20대 남성들을 대상으로 편심성 운동(eccentric exercise)을 수행한 후 진동처치를 하지 않는 control group(CON)과 진동처치를 하는 vibration group(VT)으로 나누었으며, 모든 참여자들은 사전측정값을 토대로 연령과 체질량지수(body mass index, BMI)에 기초하여 무작위배정을 통해 그룹에 배정받았다. 각각의 그룹은 편심성 운동 후 3일 동안 측정항목에 대한 측정을 반복하였다. 따라서 모든 측정항목은 운동 전, 운동 직후, 24h, 48h, 그리고 72h에서 측정되었다. 모든 실험 절차는 <Fig. 1>과 같이 도식화하였다.

### 측정 항목 및 방법

#### 편심성 운동

편심성 운동은 등속성 장비(Humac Norm, CSMi Medical Solutions, Stoughton, MA)를 이용하여 최대 등척성 근력을 측정하는 자세와 동일 자세에서 5세트(세트 당 2분 휴식) 6회 반복수축 총30회 최대편심수축을 하였다. 구체적으로 편심성 운동은 등속성장비의 기기 메뉴얼에 따라 팔꿈치가 90°굴곡 된 상태에서 최대이완지점(180°)까지 90°s<sup>-1</sup> 속도로 1초간 수축하였고, 최대이완지점(180°)에서 90°까지 10초(speed : 9°s<sup>-1</sup>)에 걸쳐 복귀하였다. 테스트 동안 검사자는 참여자가 최대근력을 발휘할 수 있도록 구두로 격려했다(Chen et al., 2013).

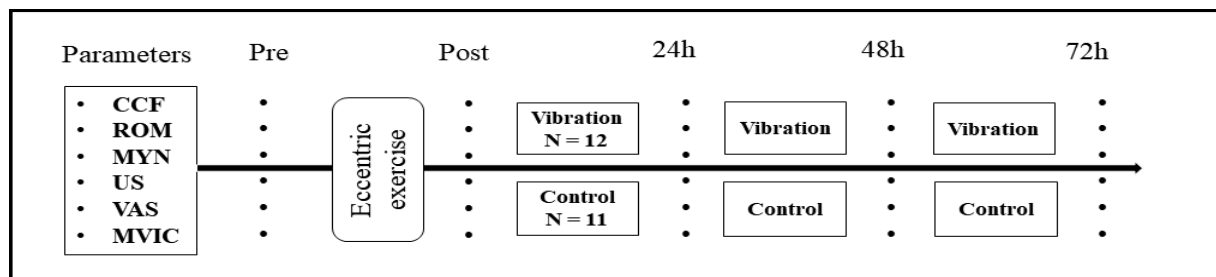


Fig. 1. Study diagram showing the time course CCF, Circumference; ROM, range of motion; MYN, myoton; US, ultrasonography; VAS, visual analogue scale; MVIC, maximum voluntary isometric contraction

### 진동처치

진동처치는 whole body side alternating vibration 기기(Body Master, MEDIEOS, Korea)를 이용하여 처치하였다. 구체적인 절차는 편심성 운동 후 POST, 24h 및 48h에 대한 항목을 측정된 뒤 주파수(frequency)는 12 Hz로 설정하였고 진폭(amplitude)은 4 mm로 설정하였다. 1분간 총 3세트 반복 수행하였고 휴식은 세트 간 30초부여 하였다. 진동처치를 하지 않는 CON은 심리적 요인을 제거하기 위해 진동기기의 전원을 끄고 자세만 동일하게 하여 수행하였으며 참여자에게 진동처치로 인한 효과에 대해 일체 설명하지 않았다(Timon et al., 2016).

### 근육부종

근육의 부종상태를 측정하기 위하여 인체측정용 줄자를 이용해 팔꿈치 주름(elbow crease)위 4 cm, 견봉(acromion)과 팔꿈치 주름 1/3지점 2부위의 왼쪽 상완둘레를 측정하였다. 운동 전후를 포함하여 회복기간 동안 측정의 오차를 줄이기 위해 반영구적 펜을 이용해 측정 부위를 표시하여 매 시기 동일 위치에서 변화를 관찰하였다(Chen et al., 2006).

### 관절가동범위

팔꿈치관절의 관절가동범위(range of motion, ROM)는 인체측정용 각도계(Baseline® goniometer, Fabrication Enterprises Inc., White Plains, NY, USA)를 이용하여 팔꿈치 굴근의 최대굴곡(fully flex) 및 최대신전(fully extend)을 측정하여 관절 각 차이로 계산하였다. 측정방법은 상완골 외측상과, 삼각근의 먼 쪽 끝 그리고 요골의 경상돌기를 표지자로 지정하였으며, 구체적으로 해부학적 자세에서 팔꿈치가 몸통에서 벗어나지 않게 안정화시키고 팔꿈치를 굽혀 최대굴곡(voluntary maximal flexion)값을 획득하고, 팔꿈치를 최대한 편 상태에서 최대신전(voluntary maximal extension)값을 채택하였다(Chapman et al., 2008).

### 최대자발적 등척성수축

최대자발적 등척성수축(maximum voluntary isometric contraction, MVIC) 측정을 위해 등속성 장비(Humac

Norm, CSMi Medical Solutions, Stoughton, MA)를 이용하였다. 누운 자세에서 팔꿈치가 90° 굴곡 된 상태로 3초간 최대 등척성 근력을 발휘하여 최대등척성근력을 평가하였으며, 테스트 동안 검사자는 참여자가 최대근력을 발휘할 수 있게 구두로 격려했다. 총 2회 반복 측정 후 최댓값을 채택하였으며 수축 간 45초 휴식기를 부여했다(Chen et al., 2009).

### 주관적 근통증

주관적 근통증은 시각적 통증지표(visual analog scale, VAS)와 인체측정용 아날로그 통각계(algometer, baseline® 1200-304, Push/Pull Force Gauge, Fabrication Enterprises Inc., White Plains, NY, USA)를 이용하여 측정하였다. VAS는 100 mm 직선형의 통증 척도로 왼쪽 끝(0 mm)은 “통증이 없음” 그리고 오른쪽 끝(100 mm)은 “참을 수 없을 정도의 통증이 있음”으로 나타내었다. 편심성 운동으로 인한 통증을 측정하기 위해 팔을 최대한 굴곡했을 때 그리고 최대한 신전했을 때의 통증을 측정하여 EANG(fully extended)과 FANG(fully flexed)을 각각 평가하였으며, 측정은 관절의 가동범위를 측정하는 자세와 동일하게 측정하였다. 또한 통각계를 이용하여 팔꿈치 주름위 4 cm, 9 cm~11 cm 지점 사이 근육(muscle belly)에서 0.45 kg/s (1lb/s)의 강도로 가하여 최대 4 kg (8.8 lbs)까지 압력을 가하였으며, 최대 압력에서 본인이 느끼는 주관적인 근통증을 VAS에 표시하였으며, 각 부위별 최소 30초 간 휴식기 부여해 평가를 하였다.(Chapman et al., 2008).

### 근육 기계적 속성

근육의 기계적 속성을 비침습적으로 측정하기 위해 3축의 디지털 가속도 센서를 내재한 접촉식 연부조직 측정기기 MyotonPRO(Myoton AS, Tallinn, Estonia)를 이용하여 팔꿈치굴근의 기계적 속성을 측정하였다. 측정환경으로 소음 및 진동 등 공진동 발생에 영향을 미치는 요인들을 제한하고 정확한 측정 변인들을 산출하기 위하여 참여자가 불필요한 긴장을 하지 않도록 지도하며, 측정동안 최대한 이완할 수 있도록 지시하였다(Kim, C.S & Kim, M.K, 2016). 측정 간 probe는 피부의 직각(수직)으로 측정하였다. 구체적으로 측정부위의 근육(muscle

belly) 중앙(middle)부위에 수직이 되도록 측정하되 공진동이 발생하도록 하였다. 근 긴장도는 주파수(frequency, Hz)로 나타나며 이는 근육 본연의 진동으로 수리적인 근수축이 없는 안정 상태에서의 진동을 의미한다. 동적인 경도(dynamic stiffness(N/m))와 기계적 압박에 따른 회복시간(mechanical stress relaxation time)과 일정 장력 하에 늘어나는 것을 의미하는 근 변형률(creep)을 의미(Kim, C.S & Kim, M.K, 2016; Schneider et al., 2015)하는데, 모든 측정은 멀티 모드(multiscan mode)를 이용하여 Tap 반복 횟수를 15회, 기계임펄스 도달시간(tap time)은 15 millisecond, 전달 간격은 .8 로 설정하였다. 측정부위는 팔꿈치 주름 위 4 cm 근육초음파 위치와 동일한 위치에서 측정하였고 견봉의 외측 끝과 정중와 사이 원위부 3/4지점에서 측정하였다(Agyapong- Badu et al., 2013).

#### 근육 초음파

영상학적 평가를 위해 초음파 시스템(LOGIQ 200MD, General Electric Medical Systems, Milwaukee, WI, USA)의 B-mode(bright mode)를 사용하였으며, 7.5 MHz 선형 프로브(linear probe)를 장착하여 측정하였다. 측정 간 명암(contrast), 초점(focus), 밝기(gains)는 동일시하였으며, 바로 누운 자세에서 상완이두근 그리고 상완근의 초음파횡단면(transverse section)영상을 획득하였다. 모든 측정시기별 오차를 최소화하기 위해 측정부위에 표시를 하여 동일한 위치에서 측정하였다. 측정 위치는 견봉과 팔꿈치 주름 1/3지점에서 상완이두근 이미지를 획득하였고(Pillen et al., 2008) 팔꿈치 주름 위 4 cm에서 상완근 이미지를 획득하여 측정하였다(Chen et al., 2009). 각 근육의 별 해부학적 표지가 영상에 나타나도록 측정하였으며, 획득한 초음파영상은 관심영역(region of interest, ROI)을 1 cm<sup>2</sup>로 설정(Radaelli et al., 2012)하여 초음파 반향세기(echo intensity)를 분석하였다. 획득한 초음파영상은 ImageJ software version 1.51a(National Institutes of Health, Bethesda, Maryland) 이용하여 회색조분석(gray scale analysis)을 실시해 평가하였다.

#### 통계 처리

모든 자료 분석은 통계처리 프로그램 SPSS 25.0(Statistical Package for the Social Sciences Software, Chicago, IL, USA)을 사용하여 측정항목별 평균(average) 및 표준오차(standard error, SE)를 산출하였다. Shapiro-Wilk test를 이용하여 표본의 정규성 검정을 실시하였으며, 운동 전과 비교하여 시간에 따른 통계적 차이는 일원배치 분산분석(one-way analysis of variance, ANOVA)을 이용하였고, Bonferroni 사후검정(Bonferroni post-hoc test)을 실시하였다. CON과 VT 그룹 간 시간경과에 따른 상호작용(interaction)효과는 이원배치 반복측정 분산분석(two-way repeated measures ANOVA)을 이용하여 확인하였다. 그룹 간 운동 전(baseline)을 포함한 각 시간별 측정변인들의 차를 평가하기 위하여 Mann -Whitney U-test를 수행하였다. 모든 통계적 유의수준은  $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

## 연구결과

#### 근육부종

편심성 운동 후 근육 부종으로 인한 상완 둘레 변화를 관찰하기 위해 상완의 하부, 중부를 평가한 결과, 상완하부에 있어서 CON은 24h, 48h 그리고 72h에서, VT는 48h 및 72h에서 운동 전과 비교하여 통계적으로 유의한 증가를 나타내었으며( $p < .05$ ), 72h에서 CON이 VT에 비해 유의한 증가를 나타내었다( $p < .01$ ). 또한 주효과 검정에서 그룹 간 시간경과에 따른 유의한 상호작용효과가 나타났다(Fig. 2A). 상완중부는 각각의 그룹 모두 24h, 48h 그리고 72h에서 운동 전과 비교하여 통계적으로 유의한 차이를 나타내었으며( $p < .05$ ), CON이 VT보다 72h에서 높은 값을 나타내었으나 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 또한 주효과 검정에서 그룹 간 시간경과에 따른 상호작용효과도 나타나지 않았다(Fig. 2B)

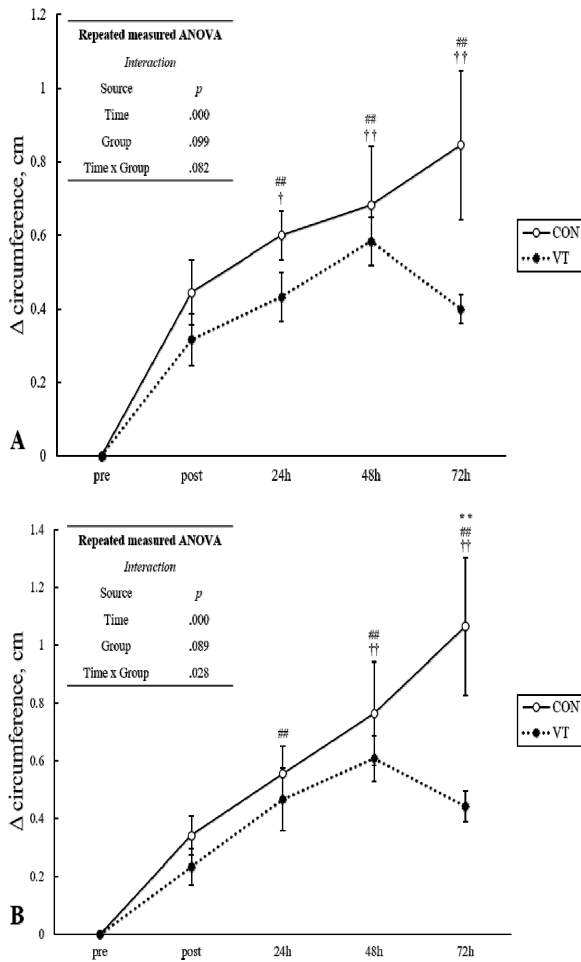


Fig. 2. Changes in  $\Delta$ mid-portion(A) and distal-portion(B) of the BB circumference for each time period CON, control group; VT, vibration group; BB, biceps brachii \*\* $p < .01$ , significant difference between CON and VT determined by Mann-Whitney U-test; † $p < .05$ , †† $p < .01$ , significant difference compared with PRE of CON resulted from one-way analysis of variance (ANOVA) with Bonferroni post-hoc test; ## $p < .01$ , significant difference compared with PRE of VT resulted from one-way analysis of variance (ANOVA) with Bonferroni post-hoc test

### 관절가동범위 및 MVIC

편심성 운동으로 인한 관절가동범위의 변화는 각각의 그룹 모두 직후 24h, 48h 그리고 72h에서 운동 전과 비교하여 통계적으로 유의한 차이를 나타내었으며 ( $p < .05$ ), CON이 VT보다 높은 경향을 나타내었으나 그룹 내

및 그룹 간 차이에서 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다. MVIC변화는 각각의 그룹 모두 직후 24h, 48h 그리고 72h에서 운동 전에 비해 통계적으로 유의한 차이가 나타내었으며 ( $p < .05$ ), CON이 VT보다 높은 경향을 나타내었으나 그룹 간 차이에서 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

### 근육 기계적 속성

편심성 운동 후 상완하부 근육의 기계적 속성의 변화는 frequency에서 CON이 24h, 48h 그리고 72h에서 VT가 직후, 24h, 48h 그리고 72h에서 운동전과 비교하여 유의한 차이를 나타냈다 ( $p < .05$ ). CON은 24h, 48h 그리고 72h에서 VT에 비해 유의한 증가를 나타내었다 ( $p < .05$ ). 또한 주효과 검정에서 시간경과에 따른 그룹 간 유의한 상호작용효과가 나타났다. Stiffness에서는 CON이 24h, 48h 그리고 72h에서, VT는 직후, 24h, 48h 그리고 72h에서 운동 전에 비해 통계적으로 유의한 차이가 나타내었으며 ( $p < .05$ ), 24h 및 48h 에서 CON이 VT에 비해 유의하게 높은 값을 나타내었다 ( $p < .05$ ). 또한 주효과 검정에서 그룹 간 시간경과에 따른 유의한 상호작용효과가 나타났다. Creep에서는 각각의 그룹 모두 직후 24h, 48h 그리고 72h에서 운동 전에 비해 유의한 증가를 나타내었으며 ( $p < .05$ ), 24h에서 CON이 VT에 비해 유의한 증가를 나타내었다 ( $p < .05$ ). 또한 주효과 검정에서 그룹 간 시간경과에 따른 유의한 상호작용효과가 나타났다. Relaxation에서는 각각의 그룹 모두 직후 24h, 48h 그리고 72h에서 운동 전과 비교하여 통계적으로 유의한 증가를 나타내었으며 ( $p < .05$ ), 24h에서 CON이 VT에 비해 통계적으로 유의한 증가를 나타내었다 ( $p < .05$ ). 또한 주효과 검정에서 그룹 간 시간경과에 따른 유의한 상호작용효과가 나타났다 (Fig. 3).

상완중부 근육의 기계적 속성의 변화는 frequency에서 CON이 24h, 48h 그리고 72h에서, VT는 24h 및 48h 에서 운동 전과 비교하여 통계적으로 유의한 증가를 나타내었으나 ( $p < .05$ ), 주효과 검정에서 그룹 간 시간경과에 따른 유의한 상호작용효과가 나타나지 않았다. Stiffness에서는 각각의 그룹 모두 직후 24h, 48h 그리고 72h에서

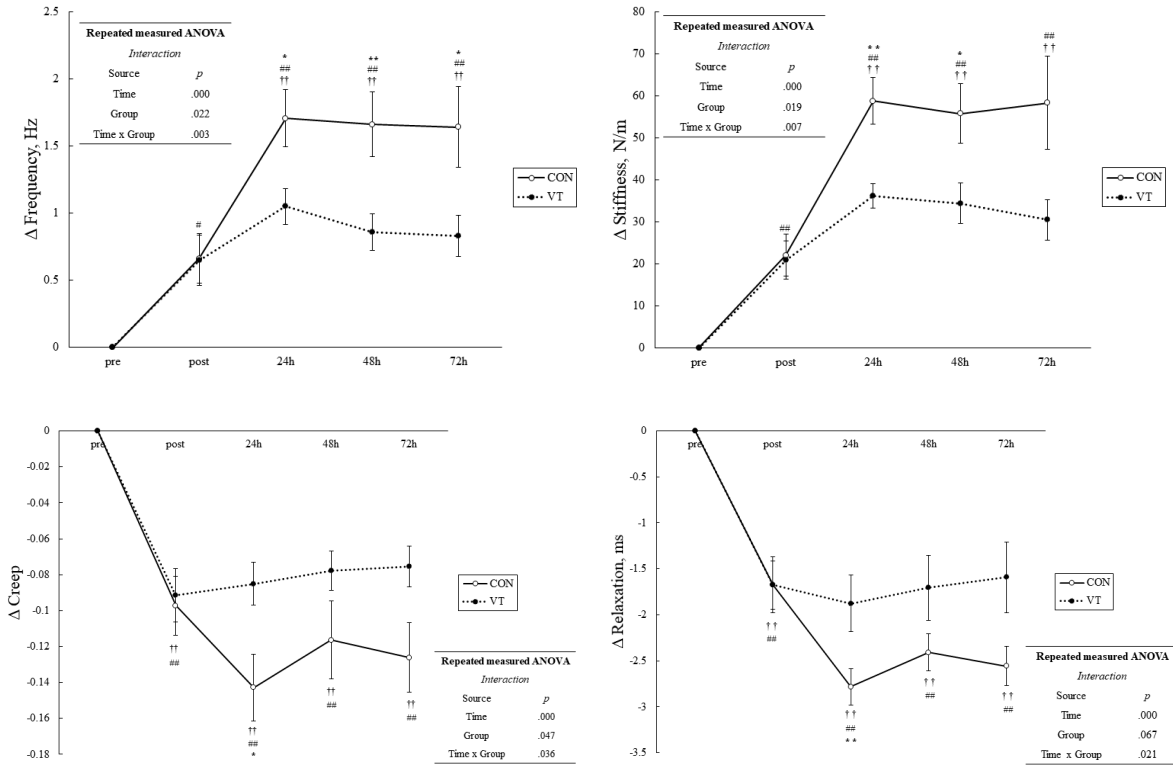


Fig. 3. Changes in  $\Delta$ distal-portion of the BB mechanical properties for each time period  
 CON, control group; VT, vibration group; BB, biceps brachii  
 \* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , significant difference between CON and VT determined by Mann Whitney U-test; †† $p < .01$ , significant difference compared with PRE of CON resulted from one-way analysis of variance (ANOVA) with Bonferroni post-hoc test; # $p < .05$ , ### $p < .01$ , significant difference compared with PRE of VT resulted from one-way analysis of variance (ANOVA) with Bonferroni post-hoc test)

운동 전과 비교하여 통계적으로 유의한 증가를 나타내었으며( $p < .05$ ), 48h 및 72h에서 CON이 VT에 비해 유의한 증가를 나타내었다( $p < .05$ ). 또한 주효과 검증에서 그룹 간 시간경과에 따른 유의한 상호작용효과가 나타났다. Creep에서는 CON이 24h, 48h 그리고 72h에서, VT는 직후, 24h, 48h 그리고 72h에서 운동 전과 비교하여 통계적으로 유의한 증가를 나타내었으며( $p < .05$ ), 주효과 검증에서 그룹 간 시간경과에 따른 유의한 상호작용효과가 나타났다. Relaxation에서는 각각의 그룹 모두 직후 24h, 48h 그리고 72h에서 운동 전에 비해 통계적으로 유의한 차이가 나타내었으며( $p < .05$ ), 주효과 검증에서 그룹 간 시간경과에 따른 유의한 상호작용효과가 나타났다(Fig. 4).

### 초음파 반향세기

편심성 운동 후 초음파 반향세기 평가에서 상완이두근은 CON이 72h에서, VT는 직후, 24h 그리고 48h에서 운동 전과 비교하여 통계적으로 유의한 차이를 나타내었으며( $p < .05$ ), CON은 72h에서 VT에 비해 유의하게 증가하였다( $p < .05$ ). 또한 그룹 간 시간경과에 따른 상호작용효과가 나타났다(Fig. 5A). 그러나 상완근은 CON이 VT에 비해 높은 경향을 나타내었으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Fig. 5B).

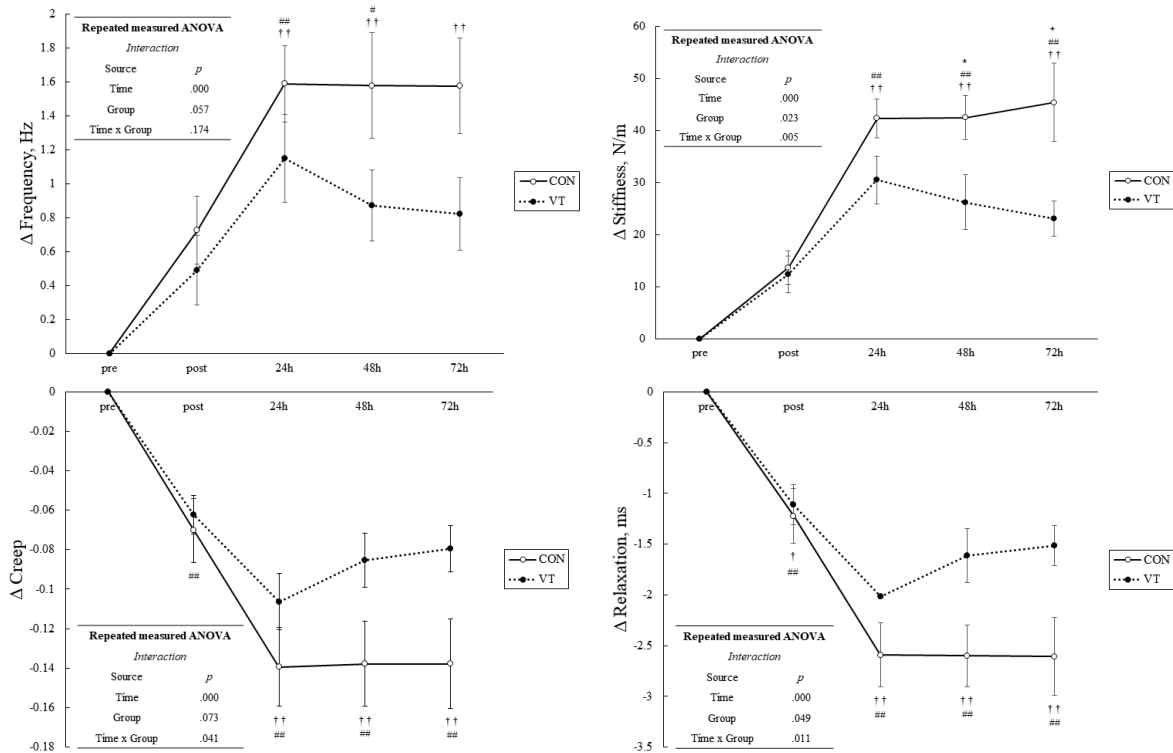


Fig. 4. Changes in  $\Delta$ mid-portion of the BB stiffness for each time period

CON, control group; VT, vibration group; BB, biceps brachii

\* $p < .05$ , significant difference between CON and VT determined by Mann Whitney U-test; † $p < .05$ , †† $p < .01$ , significant difference compared with PRE of CON resulted from one-way analysis of variance (ANOVA) with Bonferroni post-hoc test; # $p < .05$ , ## $p < .01$ , significant difference compared with PRE of VT resulted from one-way analysis of variance (ANOVA) with Bonferroni post-hoc test

Table 2. Changes in  $\Delta$ VAS for each time period

Variables		PRE	POST	24h	48h	72h	p values
$\Delta$ Mid-BB	CON	0.00 $\pm$ 0.00	0.56 $\pm$ 0.28	1.79 $\pm$ 0.44**	1.75 $\pm$ 0.34**	1.38 $\pm$ 0.42	0.001
	VT	0.00 $\pm$ 0.00	0.67 $\pm$ 0.36	1.63 $\pm$ 0.42	1.43 $\pm$ 0.58	0.57 $\pm$ 0.46	0.047
$\Delta$ Distal-BB	CON	0.00 $\pm$ 0.00	0.35 $\pm$ 0.27	1.73 $\pm$ 0.44**	1.67 $\pm$ 0.29**	1.01 $\pm$ 0.41	0.001
	VT	0.00 $\pm$ 0.00	0.36 $\pm$ 0.36	1.61 $\pm$ 0.42	1.24 $\pm$ 0.60	0.33 $\pm$ 0.45	0.041
$\Delta$ EANG	CON	0.00 $\pm$ 0.00	0.40 $\pm$ 0.17	1.43 $\pm$ 0.31**	1.71 $\pm$ 0.29**	1.34 $\pm$ 0.29**	0.000
	VT	0.00 $\pm$ 0.00	0.22 $\pm$ 0.09	0.70 $\pm$ 0.09	1.14 $\pm$ 0.36**	0.61 $\pm$ 0.14	0.001
$\Delta$ FANG	CON	0.00 $\pm$ 0.00	0.75 $\pm$ 0.21	2.02 $\pm$ 0.45**	2.03 $\pm$ 0.34**	1.33 $\pm$ 0.29*	0.000
	VT	0.00 $\pm$ 0.00	0.23 $\pm$ 0.07	1.46 $\pm$ 0.24**	1.66 $\pm$ 0.42**	0.90 $\pm$ 0.18	0.000

Values are means  $\pm$  SEM.

Mid-BB, mid-portion of biceps brachii; Distal-BB, distal-portion of biceps brachii; EANG, fully extended position; FANG, fully flexed position

p values are calculated by one way ANOVA.

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , significant difference between PRE and each time point after exercise determined by Bonferroni post-hoc test



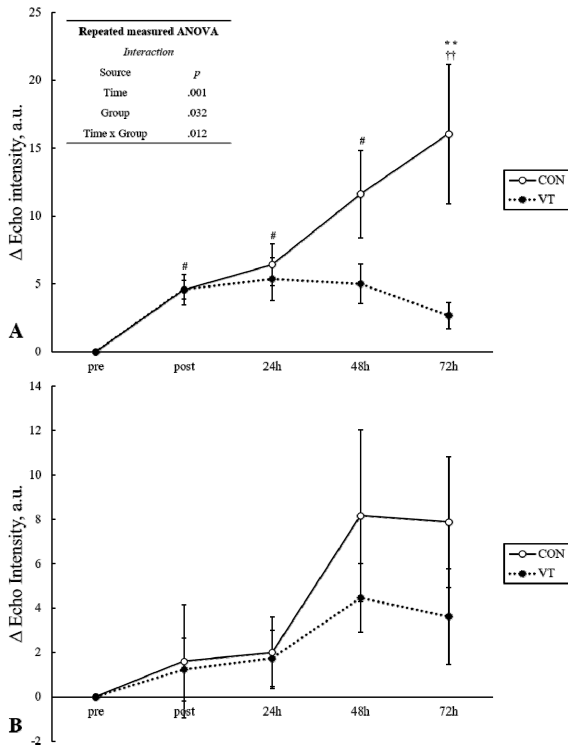


Fig. 5. Changes in ΔBB and BC echo intensity for each time period

CON, control group; VT, vibration group; BB, biceps brachii; BC, brachialis

\*\*p<.01, significant difference between CON and VT determined by Mann Whitney U-test; ††p<.01, significant difference compared with PRE of CON resulted from one-way analysis of variance (ANOVA) with Bonferroni post-hoc test; #p<.05, significant difference compared with PRE of VT resulted from one-way analysis of variance (ANOVA) with Bonferroni post-hoc test

**지연성 근통증**

편심성 운동 후 VAS를 통해 상완의 주관적 근통증을 평가한 결과, 상완하부는 CON이 24h 그리고 48h에서 운동 전과 비교하여 통계적으로 유의한 증가를 나타내었으나(p < .05), 주효과 검정에서 그룹 간 시간경과에 따른 유의한 상호작용효과가 나타나지 않았다. 상완중부는 CON이 24h 및 48h에서 운동 전에 비해 통계적으로 유의한 차이가 나타내었으나(p < .05), 주효과 검정에서 그룹 간 시간경과에 따른 유의한 상호작용효과가 나타나지

않았다. 최대굴곡에서의 통증은 CON이 24h, 48h 그리고 72h에서 VT가 48h에서 운동 전에 비해 통계적으로 유의한 차이가 나타내었으나(p < .05), 주효과 검정에서 그룹 간 시간경과에 따른 유의한 상호작용효과가 나타나지 않았다. 최대신전에서의 통증은 CON이 24h, 48h 그리고 72h에서 VT가 24h 및 48h에서 운동 전에 비해 통계적으로 유의한 차이가 나타내었으나(p < .05), 주효과 검정에서 그룹 간 시간경과에 따른 유의한 상호작용효과가 나타나지 않았다(Table 2).

**논 의**

본 연구는 20대 남성을 대상으로 팔꿈치 굴근에 대한 일과성의 편심성 운동 후 진동처치가 근손상 지표들의 변화에 미치는 영향을 근기능학적, 영상학적 및 근육 기계적 속성의 평가분석을 통해 진동처치의 영향을 과학적으로 규명하려는 목적으로 수행되었다. 주된 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 상완의 근육둘레의 변화에서 CON은 상완 중부, 하부 모두 운동 후 72h에서 최대치였으며, VT는 48h 이후 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 상완하부에서 운동 후 72h에서 CON이 VT에 비해 통계적으로 유의한 증가를 나타내었다. 진동처치로 인한 상완하부의 그룹 간 시간에 따른 상호작용효과를 나타내었으나, 상완중부에서는 72h에서 CON이 높은 경향을 나타내었지만 그룹 간 시간에 따른 상호작용효과를 나타내지 않았다.

둘째, 근육의 기계적 속성 변화는 상완하부에서 frequency, stiffness, creep, relaxation 지표 모두 그룹 간 시간에 따른 상호작용효과를 나타내었고, CON이 24h에서 운동 전과 비교하여 통계적으로 유의하게 높은 값을 나타내었다. 상완중부에서는 frequency를 제외한 측정항목 모두 그룹 간 시간에 따른 상호작용효과를 나타내었으며, 근육의 동적경도에서 CON이 48h 및 72h에 VT와 비교해 통계적으로 유의하게 높은 값을 나타내었다.

셋째, 상완이두근과 상완근의 반향세기 측정결과, 상완이두근에서 CON은 운동 후 72h에서 최대치를 보였으며, VT는 24h부터 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 CON이 VT에 비해 72h에 유의하게 높은 값을 나타내었고 그룹 간 시간에 따른 상호작용 효과를 나타내었다. 상

완근은 CON이 VT에 비해 운동 후 48h 및 72h에서 높은 경향을 나타내었지만 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

넷째, 편심성 운동으로 인한 지연성근통증을 평가한 결과 운동 전과 비교하여 시간에 따른 통계적 유의한 차이를 나타내었으나, 그룹 간 진동처치에 따른 통계적 차이는 없었다.

비침습적이며 간접적으로 EIMD를 평가할 수 있는 지표로 근육 부종은 많은 연구들이 널리 사용하고 있다. 등속성 장비를 통한 편심성 운동 후 사지(팔)둘레를 평가한 Chen 등 (2009)에 따르면 상완 둘레는 운동 후 96h까지 증가하는 경향을 나타내고 있다. 또한 Stewart 등 (2005)은 진동처치가 림프액 및 혈액의 흐름을 증가시키는 것을 보고했다. 본 연구에서 CON의 상완둘레는 72h까지 증가하는 경향을 나타내었고, VT는 48h 이후 오히려 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 선행연구와 부합하는 결과를 나타내었고 팔꿈치 굴근에 대한 편심성 운동 후 진동처치는 근육부종 감소에 긍정적인 영향을 미치는 것을 확인 할 수 있다.

근육의 기계적속성은 편심성 운동 후 나타나는 증상인 근육의 동적경도를 평가하는 방법 중 하나이다. Janecki 등 (2011)에 따르면 근육 동적경도는 편심성 운동 직후부터 120h까지 높은 수준을 유지하고 있다. 현재까지 편심성 운동 후 근육의 기계적 속성을 평가하는 연구는 많이 진행되어왔지만 진동처치에 따른 근육의 기계적 속성에 변화를 직접 비교하는 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 CON이 편심성 운동 직후 근 긴장도, 동적 경도, 근 변형률 그리고 회복시간 모두 운동 직후부터 증가하여 24h에서 매우 높은 값을 나타내었고 72h까지 동일한 경향을 나타내었다. 그러나 VT는 24h에 가장 높은 값을 나타내었으나 점차 감소하는 경향을 나타내었고 CON과 비교하여 통계적인 유의한 차이를 나타내었다. 이는 EIMD 발현 후 진동처치가 근육의 기계적속성에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

지금까지 많은 연구들이 편심성 운동으로 유발된 팔꿈치 굴근에 대한 손상을 영상학적으로 파악하기 위해 초음파분석을 사용하였다. Chen 등(2009)은 팔꿈치 굴근에 대한 편심성 운동 후 초음파에서 획득한 영상으로 반향세기를 평가한 결과 운동 후 120h까지 반향세기가 지속적

으로 증가하는 결과를 보고하였다. 본 연구에서도 편심성 운동 후 상완이두근의 초음파 반향세기를 평가한 결과 CON도 72h까지 지속적인 증가를 나타내었고 이는 많은 선행연구들과 일치한 결과를 보여주고 있다. 이에 반해 VT는 운동 후 24h부터 감소하는 경향을 나타내었으며, 그룹 간 통계적으로 유의한 차이를 나타내고 있다. 따라서 이러한 결과는 단지 적은 양의 진동처치로도 편심성 운동 후 근육의 질적인 변화를 유도할 수 있다는 것을 초음파 영상학적 분석을 통해 확인할 수 있다.

한편 DOMS는 휴식 상태보다 근육의 움직임, 압력 그리고 수축에서 훨씬 민감하게 반응한다. 본 연구에서 모든 VAS평가는 운동 전과 비교하여 시간에 따른 유의한 통계적인 차이를 나타내었다. 그러나 CON, VT그룹 간 시간에 따른 통계적인 차이가 나타나지 않았다. 선행연구에서는 팔꿈치 굴근에 대한 편심성 수축 후 진동처치군과 비처치군 간 VAS평가를 하였고 그룹 간 차이를 보고하였다(Lau & Nosaka, 2011). 이러한 결과는 진동 종류에 따른 차이로 설명되어 질 수 있다. 선행연구에서는 수축을 가한 부위에 직접적인 접촉을 하여 처치하는 휴대용기기를 이용하였고, 본 실험에서는 전신진동기기를 통해 상지에 진동을 가하였다. 따라서 압력과 수축에 민감하게 반응하는 EIMD의 지표 중 하나인 DOMS는 직접적으로 접촉을 통한 자극이 통증감소에 상대적으로 효과적인 처치법으로 판단된다.

향후 다양한 운동모드를 통한 근수축 양식 기반의 통증을 활용하되, 진동의 세기(강도), 시간 및 빈도를 적극 활용한 처치 전략도 필요할 것으로 판단된다.

## 결론 및 제언

적은 대사적 비용으로 강한 힘을 발휘하는 편심성 수축양식은 운동 트레이닝 프로그램의 설계에서 추천할 수 있는 하나의 방법이지만, 강도 높은 편심성 운동으로 발생한 EIMD는 오히려 근육의 기능을 저하시키고 통증을 야기한다. 이러한 단점은 효율적인 트레이닝을 수행하는데 방해되는 주된 원인 중 하나이다. 따라서 EIMD를 감소시켜 편심성 운동의 결함을 보완한다면 편심성 운동은 매우 효율적인 트레이닝 방법일 것이다. 따라서 본 연구

는 젊고 건강한 20대 남성을 대상으로 일과성의 편심성 운동 후 진동처치로 인한 EIMD 간접적 지표인 기능학적, 영상학적 그리고 근육의 기계적 속성 변화를 평가하기 위한 목적으로 진동의 효능을 검증하고자 하였다.

연구 결과에서 알 수 있듯이, 편심성 운동 후 진동처치는 상완하부에서의 근육부종 감소, 근육 동적경도 감소, 근 변형률과 회복시간의 증가를 확인하였다. 이는 진동처치가 편심성 운동으로 인한 근육손상 지표에 절대적으로 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 그러나 관절가동범위 및 최대등척성 근력에서는 진동처치의 유효한 경향은 있었지만 통계적으로 유의하지는 않았다. 이러한 결과는 진동처치 위치(site)에 관한 문제이다. 이를테면 EIMD 후 회복전략으로 진동의 처치 부위가 직접적인지 혹은 간접적인가에 따라 상이한 결과를 도출한다는 것이다. 따라서 진동처치를 하되 진동 부위를 충분히 고려한 처치법은 EIMD에 의한 단점을 보다 경감시킬 것으로 판단된다. 따라서 본 연구의 side alternating 방식의 진동처치는 근육부종, 영상학적 및 기계적속성과 같이 근육의 질(quality)에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 보인다.

따라서 차후 연구에서는 진동의 세기, 폭, 시간 등의 고려함과 동시에 진동부위에 따른 임상결과를 충분히 타진하여 보다 효율적인 진동처치 적용이 다각적으로 분석 및 평가되어야 할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- Agyapong-Badu, S., Aird, L., Bailey, L., Mooney, K., Mullix, J., Warner, M., ... & Stokes, M. (2013). Interrater reliability of muscle tone, stiffness and elasticity measurements of rectus femoris and biceps brachii in healthy young and older males. *Work. Papers Health Sci*, 4, 1-11.
- Armstrong, R. B. (1984). Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. *Med Sci Sports Exerc*, 16(6), 529-538.
- Aminian-Far, A., Hadian, M. R., Olyaei, G., Talebian, S., & Bakhtiary, A. H. (2011). Whole-body vibration and the prevention and treatment of delayed-onset muscle soreness. *Journal of athletic training*, 46(1), 43-49.
- Bakhtiary, A. H., Safavi-Farokhi, Z., & Aminian-Far, A. (2007). Influence of vibration on delayed onset of muscle soreness following eccentric exercise. *British journal of sports medicine*, 41(3), 145-148.
- Barnes, M. J., Perry, B. G., Mündel, T., & Cochrane, D. J. (2012). The effects of vibration therapy on muscle force loss following eccentrically induced muscle damage. *European journal of applied physiology*, 112(3), 1189-1194.
- Byrne C, Twist C, Eston R (2004). Neuromuscular function after exercise-induced muscle damage—theoretical and applied implications. *Sports Med* 34:49 - 69
- Chapman, D. W., Newton, M., McGuigan, M., & Nosaka, K. (2008). Effect of lengthening contraction velocity on muscle damage of the elbow flexors. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(5), 926-933.
- Chen, T. C., Chen, H. L., Lin, M. J., Wu, C. J., & Nosaka, K. (2009). Muscle damage responses of the elbow flexors to four maximal eccentric exercise bouts performed every 4 weeks. *European journal of applied physiology*, 106(2), 267-275.
- Chen, T. C., Chen, H. L., Lin, M. J., Chen, C. H., Pearce, A. J., & Nosaka, K. (2013). Effect of two maximal isometric contractions on eccentric exercise-induced muscle damage of the elbow flexors. *European journal of applied physiology*, 113(6), 1545-1554.
- Chen, T. C., & Nosaka, K. (2006). Responses of elbow flexors to two strenuous eccentric exercise bouts separated by three days. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(1), 108.
- Cheung, K., Hume, P. A., & Maxwell, L. (2003). Delayed onset muscle soreness. *Sports medicine*, 33(2), 145-164.
- Connolly, D. A., Sayers, S. P., & McHugh, M. P. (2003). Treatment and prevention of delayed onset muscle soreness. *Journal of strength and conditioning research*, 17(1), 197-208.
- Eston, R., & Peters, D. (1999). Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. *Journal of sports sciences*, 17(3), 231-238.
- Janecki, D., Jarocka, E., Jaskólska, A., Marusiak, J., & Jaskólski, A. (2011). Muscle passive stiffness increases less after the second bout of eccentric exercise compared to the first bout. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(4), 338-343.
- Kim, C. S., & Kim, M. K. (2016). Mechanical properties and physical fitness of trunk muscles using Myoton. *The Korean Journal of Physical Education*, 55(1), 633-642.
- Lau, W. Y., & Nosaka, K. (2011). Effect of vibration treatment on symptoms associated with eccentric exercise-induced muscle

- damage. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 90(8), 648-657.
- Pillen, S., Arts, I. M., & Zwarts, M. J. (2008). Muscle ultrasound in neuromuscular disorders. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*, 37(6), 679-693.
- Pizza, F. X., Cavender, D., Stockard, A., Baylies, H., & Beighle, A. (1999). Anti-inflammatory doses of ibuprofen: effect on neutrophils and exercise-induced muscle injury. *International journal of sports medicine*, 20(02), 98-102.
- Radaelli R., Bottaro M., Wilhelm EN., Wagner DR., & Pinto RS. (2012). Time course of strength and echo intensity recovery after resistance exercise in women. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 26, 2577-2584.
- Rhea, M. R., Bunker, D., Marín, P. J., & Lunt, K. (2009). Effect of iTonic whole-body vibration on delayed-onset muscle soreness among untrained individuals. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 23, 1677-1682.
- Rodenburg, J. B., Steenbeek, D., Schiereck, P., & Bär, P. R. (1994). Warm-up, stretching and massage diminish harmful effects of eccentric exercise. *International Journal of sports medicine*, 15(07), 414-419.
- Stewart, J. M., Karman, C., Montgomery, L. D., & McLeod, K. J. (2005). Plantar vibration improves leg fluid flow in perimenopausal women. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 288(3), R623-R629.
- Timon, R., Tejero, J., Brazo-Sayavera, J., Crespo, C., & Olcina, G. (2016). Effects of whole-body vibration after eccentric exercise on muscle soreness and muscle strength recovery. *Journal of physical therapy science*, 28(6), 1781-1785.
- Yackzan, L., Adams, C., & Francis, K. T. (1984). The effects of ice massage on delayed muscle soreness. *The American journal of sports medicine*, 12(2), 159-165.
- Zhang, J., Clement, D., & Taunton, J. (2000). The efficacy of Farabloc, an electromagnetic shield, in attenuating delayed-onset muscle soreness. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 10(1), 15-21.

## 일과성의 편심성 운동이 상지의 근육부종, 기계적 속성 및 영상학적 변화에 미치는 영향: 진동 적용의 효능검증

최민영 · 김맹규(경북대학교, 석사, 부교수)

**[목적]** 일과성의 편심성 운동에 의한 운동유발성 근손상(EMID) 발현 후 진동처치가 상지근의 기능학적, 영상학적 그리고 근육의 기계적 속성의 변화에 미치는 영향을 평가하려는 목적으로 수행하였다. **[방법]** 편심성 수축에 익숙하지 않고 스포츠 활동을 하지 않는 20대 남성들을 대상(총 23명)으로 비우세측 팔꿈치 굴근에 대한 편심성 운동을 5세트 6회 수행하였고, 진동처치를 실시하지 않는 그룹 11명과 진동처치그룹 12명으로 나눠 EIMD 지표들의 변화를 관찰하였다. 진동처치는 (12 Hz frequency, 4 mm amplitude) 편심성 운동 후 60초 간 3세트 실시하였다. **[결과]** 진동처치그룹은 EIMD 지표인 근육부종, 초음파 반향세기 및 기계적 속성에서 그룹 간 통계적으로 유의미한 차이를 나타내었다( $p < .05$ ). 그러나 근통증, 관절가동범위 및 최대자발적수축 측면에서는 진동처치로 인한 경향이 나타났지만 통계적으로 유의미한 차이는 나타나지 않았다. **[결론]** 본 연구의 진동처치는 근육부종, 초음파 반향세기 및 기계적속성과 같이 근육의 quality에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 보인다. 차후에는 진동의 세기, 폭, 시간 등의 고려함과 동시에 진동부위에 따른 임상결과를 충분히 타진하여 보다 효율적인 진동처치 적용이 다각적으로 분석 및 평가되어야 할 것으로 판단된다.

**주요어:** 편심성 운동, 운동유발성근손상, 진동처치, 기계적 속성, 초음파 반향세기