

## 다양한 주파수에 따른 전신진동자극 훈련이 만성 발목 불안정 성인의 발목 불안정 정도, 관절가동범위, 균형능력에 미치는 영향

진연상 · 최윤희<sup>1</sup> · 심재광 · 차용준<sup>2†</sup>

대전웰니스병원 재활치료부, <sup>1</sup>대전대학교 대학원 물리치료학과, <sup>2</sup>대전대학교 보건의료과학대학 물리치료학과

Effect of Wholebody Vibration Stimulation According to Various Frequencies on Ankle Instability, Ankle Range of Motion and Balance Ability in Adult with Chronic Ankle Instability

Yeon-Sang Jin, PT, MS · Yoon-Hee Choi, PT, MS<sup>1</sup> · Jae-Kwang Shim, PT, Ph.D · Yong-Jun Cha, PT, Ph.D<sup>2†</sup>

Rehabilitation Center, Daejeon Wellness Hospital

<sup>1</sup>Department of Physical Therapy, Graduate School, Daejeon University

<sup>2</sup>Department of Physical Therapy, College of Health and Medical Science, Daejeon University

Received: October 23, 2017 / Revised: October 26, 2017 / Accepted: November 27, 2017

© 2018 J Korean Soc Phys Med

### | Abstract |

**PURPOSE:** The aim of this study was to compare the effect of whole body vibration stimulation on ankle instability, ankle range of motion, and balance ability in adult with chronic ankle instability.

**METHODS:** Forty-five adult with chronic ankle instability were randomly equally allocated the I group (whole body vibration stimulated at 10 Hz), or the II group (20 Hz), or the III group (25 Hz). All the participants (male:13/female: 32, age: 26.64±3.14) in this study received whole body vibration therapy for an additional 15 minutes after hot pack and ultrasound three times a week for four weeks. Outcome were

measured before and after 4 weeks training.

**RESULTS:** All the three groups showed significant differences in AII and CAIT after intervention ( $p<.05$ ). I group showed the most significant difference ( $p<.05$ ). All the three groups also showed significant increase in ankle dorsiflexion and plantar flexion after training ( $p<.05$ ). I group showed greater increase than the other groups in ankle dorsiflexion ( $p<.05$ ). The X-axis, Y-axis, and fluctuation speed were significantly decreased in the three groups ( $p<.05$ ), but there was no significant difference between the three groups after the intervention.

**CONCLUSION:** The findings suggest that the whole body vibration stimulation according to various frequencies is effective for improve ankle instability, ankle range of motion and balance ability in adult with chronic ankle instability. 10 Hz whole body vibration stimulation could help improve ankle instability and ankle range more effectively than other frequencies.

†Corresponding Author : Yong-Jun Cha  
cha0874@dju.kr, <http://orcid.org/0000-0002-8553-7098>

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.

**Key Words:** Ankle instability, Balance ability, Range of motion, Whole body vibration.

## I. 서론

발목은 보행에 있어 중요한 역할을 하는 하지의 관절 중 하나로 해부학적으로 외측 복사뼈가 내측 복사뼈보다 길고 내측보다 외측인대가 약한 구조를 형성하기 때문에 정형외과적으로 손상 빈도가 높은 관절이다(Fong 등, 2007; Ko 등, 2014; Park과 Yoon, 2012). 발목 손상 중 76% 이상은 발목 염좌이며(Thomas와 Boyce 등, 2012), 급성 발목 염좌의 경우 80%는 보존적 치료를 통하여 완전한 회복이 이루어지지만, 나머지 20%는 급성 손상 후 초기 치료와 재활의 정상적인 회복 과정을 거치지 않아 반복적인 발목 손상을 경험하는 만성적 발목불안정성(Chronic Ankle Instability, CAI)으로 발전하게 된다(Abe 등, 2014; Hintermann, 1999).

만성 발목 불안정성은 과유동성으로 인한 관절의 이완 및 변형, 연골의 퇴행적 변화, 활액막 변화와 같은 손상이 발생되며(Gilbreath 등, 2014), 하지 근육의 근신경 반사 감소 및 관절 조절 저하, 근력약화, 관절가동범위의 감소 등이 나타난다(Pak 등, 2012; Yeo 등, 2009). 특히, 발목주변의 기계적수용기(Mechanoreceptor)를 포함한 신경조직들이 손상을 입게 되면 관절의 움직임이나 위치와 관련한 고유수용성감각의 저하로 인하여(Hertel, 2000) 자세조절과 같은 신경근 조절(neuromuscular control)능력이 저하되고 자세동요와 관련한 균형능력이 감소하게 된다(Gilbreath 등, 2014; Park과 Kim, 2014).

전신진동자극훈련(Whole body vibration Training, WBVT)은 근신경계 기능 향상을 위한 훈련 방법의 하나로 플랫폼을 통해 진동자극이 전달되며, 근방추 체계(muscle spindle system)의 신장반사를 통해 근육수축을 유발하는 방법이다(Baumbach 등, 2013). 이는 노인의 낙상 감소, 균형능력과 보행속도 증가, 무릎관절 껌근의 근력및 발목관절 가동범위가 향상되며(Yang 등, 2015) 특히, 내번(inversion) 염좌에 의한 발목 불안정성이 있는 환자의 관절 가동범위, 근력과 균형능력 등

발목의 기능적 향상에 효과가 있다(Baumbach 등, 2013).

만성 발목 불안정성의 발목 기능 개선을 위하여 실시되고 있는 전신진동자극 훈련은 광범위한 진동 주파수의 범위로 인하여 환자의 상태 및 질환에 따라 치료사의 주관적 평가에 의존하여 주파수 범위 조절이 이루어지고 있으며, 현재까지 최적의 주파수 적용 프로토콜이 확립되지 않은 현실이다(Lam 등, 2016). 따라서 전신진동자극을 적용하는데 있어 주파수의 기간, 빈도, 강도 등의 요소들이 분명하게 제시되어 있지 않아 임상현장에서 실제로 적용하는데 많은 어려움이 따르며 보다 효과적인 임상적 적용을 위하여 진동 매개 변수들을 정립할 필요가 있다(Seo 등, 2016).

Chen 등(2014)은 발목 불안정성 환자의 균형훈련을 위한 최적의 진동 주파수를 30 Hz-50 Hz로 제안하였고, Tankisheva 등(2014)은 뇌졸중 환자의 하지 근력 및 균형능력 증진을 위하여 중재를 실시하는 동안 진동 주파수를 점진적으로 35 Hz~40 Hz로 조정하는 것을 제안하였다. Baumbach 등(2013)은 10 Hz 이하의 진동 주파수는 급성 발목 염좌 환자의 손상 받은 근육과 조직을 이완시키고, 10 Hz 이상 20 Hz 이하의 주파수는 협응운동(coordination exercise)에 적용할 수 있다 하였으며, 20 Hz 이상이면 근육의 등장성 수축을 유발하며 진동의 변화는 근육활동과 상관관계가 있다고 보고하였다. 이와 같이 지금까지의 전신진동 자극 훈련 방법은 적용할 대상자에 따라서 다양한 주파수가 효과적임이 제시되고 있으며, 특정 주파수 이외에 일부 범위를 두고 적용할 것을 권고하고 있어 발목 불안정성을 가진 환자들을 대상으로 적용하기에는 일부 혼란이 발생할 수 있다. 따라서 본 연구는 발목관절의 만성 불안정성을 가진 성인을 대상으로 4주 간의 전신진동자극 훈련이 발목의 불안정, 관절가동범위, 정적 균형능력에 미치는 영향을 알아보고자 하였으며, 전신진동자극의 주파수에 따른 효과를 비교하여 발목관절 불안정성이 있는 성인에게 가장 효과적인 구체적 주파수를 제시하고자 실시하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

본 연구는 D시에 위치한 W사업체에 근무하는 근로자 중 만성 불안정성 발목관절로 판단된 성인남녀를 대상으로 실시하였다.

대상자의 선정기준은 발목 불안정 유, 무를 판단하기 위한 발목 불안정성 검사자인 AII (ankle instability instrument)이 5점 이상이고, Cumberland 발목 불안정성 검사에서 23점 이하인 자, 최초의 발목 염좌를 경험한 후 한 번 이상 반복적으로 발목 상해가 발생한 자, 현재 치료적 중재를 받지 않는 자로 하였다.

최근 3개월 이내의 발목 손상을 경험하였거나 발목 상태가 병적인 자 또는 발목 염좌 이외의 정형외과적 문제가 있는 자는 연구대상에서 제외하였다.

총 49명이 연구 대상자 선정기준에 부합하였으나 중재 시작 후 퇴사로 인한 중도탈락으로 인하여 최종적으로 45명이 연구대상자로 선정되었다. 실험 전 모든 연구 대상자들에게 본 연구의 목적을 충분히 설명하였으며 자발적으로 실험에 동의하여 연구를 진행하였고, 대전대학교 연구윤리심의위원회의 승인(1040647-201706-HR-003-03) 후 본 연구를 실시하였다.

### 2. 연구절차 및 중재방법

본 연구의 목적을 위해 요구되는 대상자 수는 G-power program을 이용하였다. 유의수준 .05, 효과 크기 .5에서 검정력 .8을 유지하기 위해 그룹별로 14명, 총 42명이 필요함을 확인하였다. 중도 탈락자를 고려하여 총 49명을 대상으로 선정하였다.

대상자의 선정 조건 및 제외 조건을 통해 선정된 49명 중 중도 탈락자 4명을 제외하고 최종적으로 총 45명의 연구대상자를 I 군(10 Hz 전신진동자극훈련, n=15), II 군(20 Hz 전신진동자극훈련, n=15), III 군(25 Hz 전신진동자극 훈련, n=15)으로 무작위 배정하였다.

모든 대상자는 근육의 긴장 완화 및 진동자극에 대한 심리적 안정을 유도하기 위하여 불안정성 발목관절로 판단된 환측 발목관절에 온습포와 초음파 치료(온습포: 10분, 초음파: 5분)를 15분 시행하였으며, 추가적으

로 진동 주파수 조건에 따른 전신진동자극 훈련을 20분씩 주 3회 총 4주간 실시하였다.

전신진동자극 훈련은 전신 진동기(Galileo Med S, NOVETEC MEDICAL GmbH, Germany)를 이용하였으며, 전신진동기 전용 경사침대(Galileo Delta A, NOVETEC MEDICAL GmbH, Germany)와 연동하여 사용하였다. 전신 진동기는 측면 교대적인 정형파(side-alternating sinusoidal) 진동방식으로 유효 주파수는 1 Hz부터 27 Hz이며, 진폭은 0±3.9 mm를 제공한다. 연구 대상자는 전신 진동기와 연동된 경사침대에 80° 경사진 뒷면에 기대어 선 후, 무릎을 약 30° 굽힘 하여 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절을 약간 구부리는 반 웅크리기 자세를 취하였으며(Wang 등, 2016), 발의 너비는 30 cm로 하여 뒷면에 닿지 않도록 하였다. 전신진동자극 훈련은 1세트 당 60초씩 10세트 적용하고 매 세트마다 60초의 휴식 시간을 제공하여 총 20분간 진행하였다. 전신진동자극 훈련 중 대상자에게 허리벨트를 착용하도록 하였으며 치료사가 옆에서 대기하여 낙상과 같은 안전사고에 대비 하였다.

### 3. 측정 도구 및 방법

#### 1) 발목관절 불안정성 설문지

기능적 발목관절 불안정을 평가하기 위하여 다양한 평가 도구 중 기능적 발목 불안정성 설문지(ankle instability instrument, AII)와 Cumberland 발목 불안정성 설문지(Cumberland ankle instability tool, CAIT)를 사용하였다. Donahue 등(2011)은 정확한 발목관절의 안정 상태를 예측하고 발목관절 불안정성에 대한 최소한의 인정 요건을 충족하기 위하여 두 종류의 설문지를 모두 사용할 것을 제안하였다.

#### (1) 기능적 발목 불안정성 설문지(ankle instability instrument, AII)

기능적 발목 불안정성 설문지는 발목 손상 및 기능장애 정도를 평가하기 위해 개발되었으며 총 9가지 항목으로 이루어져 있다. 한 항목 당 1점으로 '예'라고 답한 항목은 1점, '아니오'라고 대답한 항목은 0점으로 한다.

총점이 0점인 대상자는 관절이 손상 받지 않았음을 의미하고 14점은 약간의 불안정성을 나타내며 5점 이상은 기능적 발목 불안정성이 있음을 나타낸다. 본 설문지는 검사 재검사 신뢰도 연구에서 높은 신뢰도를 보였다(ICC=.95)(Docherty 등, 2006).

## (2) Cumberland 발목 불안정성 설문지(Cumberland ankle instability tool, CAIT)

Cumberland 발목 불안정성 설문지는 발목 불안정성의 정도를 최초로 점수화 시킨 설문지로 9개의 질문으로 구성되어 있다. 항목에서 5문제는 3점부터 0점까지, 2문제는 4점부터 0점까지, 1문제는 5점부터 0점까지, 또 다른 1문제는 2점부터 0점으로 배정 되어있다. 총점은 30점 만점으로 28점 이상은 안정적 발목으로 24점 미만은 불안정성 발목을 의미한다. 본 설문지는 검사 재검사 신뢰도 연구에서 높은 신뢰도와 타당도를 보였다(ICC=.96)(Sawkins 등, 2007).

## 2) 발목 관절가동범위 평가

발목의 관절가동범위 측정은 스마트폰 어플리케이션 Tiltmeter (IntegraSoftHN-Carlos E. Hernandez Perez, Spain)를 이용하였다. 발등 굽힘 측정 시대상자는 런지(lunge)자세에서 양쪽 무릎을 전방으로 굽히게 하고 발뒤꿈치가 바닥에서 떨어지지 않은 상태에서 발목을 최대한 굴곡시킨 상태로 스마트폰을 아킬레스힘줄 위에 수직으로 두고 각도를 측정하였다. 발바닥 굽힘 측정 시 대상자는 의자에 앉아서 발이 바닥에서 떨어지지 않도록 하고 발목관절 바로 위 정강뼈 전면부에서 각도를 측정하였다. 스마트폰 어플리케이션을 이용한 발목관절의 각도 측정방법은 측정자간 신뢰도( $r=.80$ )와 타당도( $r=.83$ )가 검증된 유용한 평가 도구이다(Williams 등, 2013).

## 3) 균형능력 평가

정적 균형능력의 측정은 Wii 발란스 보드(Wii balance board, Nintendo, Kyoto, Japan)를 이용하여 동요 속도와 동요거리를 측정 하였다. Wii 발란스 보드는 노트북과 무선으로 연결되어 X, Y축에 대한 무게중심

정보를 수집하여 전후, 좌우방향의 동요거리와 속도 등의 정보를 처리 하였으며, 모든 데이터는 100Hz로 샘플링하여 추출 하였다. 정적 균형능력 측정 시 모든 실험 참가자는 압력판 위에 신발을 벗은 상태로 팔을 양 옆에 편안하게 내려놓은 선 자세에서 측정하였다. 측정은 눈을 감은 상태로 30초 동안 실시하였으며, 총 3회를 측정하여 평균값을 이용 하였다. 수집된 데이터를 분석하기 위하여 발란시아 프로그램(Balancia software ver. 2.0, Mintosys, Seoul, Korea)을 사용 하였다. Wii 발란스 보드의 측정자간 신뢰도는 ICC=.92-.98로 높고(Holmes 등, 2013), 발란시아 프로그램은 측정자간 신뢰도( $r=.79-.96$ )와 타당도( $r=.85-.96$ )가 검증된 유용한 평가 도구이다(Park 등, 2013).

## 4. 자료 분석

측정하여 수집된 자료들은 윈도우용 SPSS ver. 18.0 통계프로그램을 이용하여 분석하였다. 모든 자료에 대한 정규성 검정을 실시하였으며 대상자의 일반적인 특성은 기술통계를 사용하여 평균과 표준편차를 산출하였다. 각 군내 중재 전과 후의평균차이 비교를 위하여 대응표본 t-검정을(paired t-test)실시하였고, 각 군간 중재 전과 후의 차이 값 비교를 위하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 시행하였다. 통계학적으로 유의한 차이가 나타난 경우 사후검증으로 Bonferroni법을 실시하였으며 통계학적 유의수준은  $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

## III. 연구결과

### 1. 연구대상자의 일반적인 특성

세 군간 일반적 특성인 성별, 나이, 신장, 체중의 모든 변수에서는 유의한 차이는 없었으며( $p>.05$ ), 연구 대상자의 일반적인 특성은 Table 1과 같다.

### 2. 세 군의 중재 전과 후의 발목 불안정성 비교

AII는 세 군 모두 중재 전에 비하여 중재 후 평균값이 유의한 감소를 보였으며( $p<.05$ ), 세 군의 중재 전과 후 변화량을 비교한 결과 유의한 차이를 보였다

Table 1. General characteristics of all the subjects

	I group (n=15)	II group (n=15)	III group (n=15)	$\chi^2/F$
Gender (male/female)	4/11	6/9	3/12	.469
Age (years)	26.80±3.21	26.33±3.18	26.80±3.03	.150
Height (cm)	166.33±7.56	165.80±5.56	164.27±6.17	.462
Weight (kg)	59.87±12.85	59.53±7.16	59.96±9.95	.693

Values are expressed means ±standard deviations or numbers.

I group: whole body vibration stimulation training on 10 Hz II group: whole body vibration stimulation training on 20 Hz III group: whole body vibration stimulation training on 25 Hz.

\*p<.05.

Table 2. Comparison of changes in ankle instability outcome among three groups

	I group (n=15)	II group (n=15)	III group (n=15)	F	
All (score)	Pre	6.33±.82	6.27±1.44	6.80±1.217	.907
	Post	3.00±.205	3.73±1.22	4.73±1.22	7.709*
	t	15.811	9.906	17.486	
	change	3.33±.82* <sup>†</sup>	2.53±.99*	2.06±.46*	9.945*
CAIT (score)	Pre	17.87±2.72	17.07±3.71	14.73±4.18	3.083
	Post	26.00±2.17	22.87±2.92	21.20±3.32	11.001*
	t	-15.250	-10.163	-10.121	
	change	-8.13±2.07* <sup>††</sup>	-5.80±2.21*	-6.46±2.47*	4.649*

Values are expressed means±standard deviations or numbers.

I group: whole body vibration stimulation training on 10 Hz II group: whole body vibration stimulation training on 20 Hz; III group: whole body vibration stimulation training on 25 Hz.

All: ankle instability instrument CAIT: Cumberland ankle instability tool.

<sup>†</sup>Significant difference, between experimental I group and experimental II group

<sup>††</sup>Significant difference compared to the experimental III group.

\*p<.05.

(p<.05). 사후분석결과 I 군은 III군보다 유의한 감소를 보였다(p<.05). CAIT는 세 군 모두 중재 전에 비하여 중재 후 평균 값이 유의한 증가를 보였으며(p<.05), 세 군의 중재 전과 후 변화량을 비교한 결과 유의한 차이를 보였다(p<.05). 사후분석 결과 I 군은 II 군과 III군보다 유의한 증가를 보였다(p<.05)(Table2).

3. 세 군의 중재 전과 후의 발목 관절가동범위 비교  
D-flex는 세 군 모두 중재 전에 비하여 중재 후 평균 값이 유의한 증가를 보였으며(p<.05), 세 군의 중재 전

과 후 변화량을 비교한 결과 유의한 차이를 보였다 (p<.05). 사후분석 결과 I 군은 III군 보다 유의한 증가를 보였다(p<.05). P-flex는 세 군 모두 중재 전에 비하여 중재 후 평균 값이 유의한 증가를 보였으나(p<.05), 세 군의 중재 전 후 변화량을 비교한 결과 유의한 차이를 보이지 않았다(p>.05)(Table 3).

4. 세 군의 중재 전과 후의 정적 균형능력 비교  
좌우(X축), 전후방(Y축), 동요속도는 세 군 모두 중재 전에 비하여 중재 후 평균 값이 유의한 감소를 보였

Table 3. Comparison of changes in ankle range of motion outcome among three groups

		I group (n=15)	II group (n=15)	III group (n=15)	F
D-flex (°)	Pre	39.21±4.61	38.97±4.05	40.24±4.57	.352
	Post	47.65±4.84	47.23±5.65	46.03±4.85	4.569*
	t	-17.874	-12.519	-4.649	
	change	8.45±2.07**	8.26±2.56*	2.44±2.03*	40.889*
P-flex (°)	Pre	46.42±1.32	46.01±.66	46.03±1.49	.037
	Post	50.70±.80	49.74±.78	51.51±1.35	.770
	t	-3.896	-6.948	-5.656	
	change	4.28±4.25*	3.73±2.08*	5.48±3.75*	.605

Values are expressed as means±standard deviations.

I group: whole body vibration stimulation training on 10 Hz II group: whole body vibration stimulation training on 20 Hz; III group: whole body vibration stimulation training on 25 Hz.

D-flex: dorsiflexion; P-flex: plantarflexion.

†Significant difference, between experimental I group and experimental II group

‡Significant difference compared to the experimental III group.

\*p<.05.

Table 4. Comparison of changes in balance ability outcome among three groups

		I group (n=15)	II group (n=15)	III group (n=10)	F
X - axis (cm)	Pre	46.76±12.50	47.37±7.11	48.22±7.05	.910
	Post	46.00±12.09	45.54±6.96	47.75±6.45	.774
	t	1.102	3.359	.744	
	change	.75±2.64*	-1.82±2.10*	.47±2.44*	.711
Y - axis (cm)	Pre	35.04±4.89	35.97±3.62	36.33±4.15	.368
	Post	32.28±9.36	34.95±4.26	35.10±3.78	.944
	t	1.329	1.453	2.468	
	change	-2.75±8.02*	-1.01±2.70*	-1.22±1.92*	.136
Fluctuation speed (sec)	Pre	2.15±.44	2.19±.27	2.21±.29	.111
	Post	2.12±.45	2.04±.29	2.17±.26	.554
	t	1.104	6.743	1.694	
	change	-.03±.11*	-.16±.09*	-.05±.10*	1.654

Values are expressed as means±standard deviations.

I group: whole body vibration stimulation training on 10 Hz II group: whole body vibration stimulation training on 20 Hz; III group: whole body vibration stimulation training on 25 Hz.

\*p<.05

으나(p<.05), 세 군의 중재 전과 후 변화량을 비교한 결과 유의한 차이를 보이지 않았다(p>.05)(Table 4).

#### IV. 고찰

본 연구는 발목관절의 만성 불안정성을 가진 성인을

대상으로 다양한 주파수의 전신진동자극 훈련이 발목의 불안정, 관절가동범위, 정적 균형능력에 미치는 영향을 알아보고자 하였으며, 전신진동자극 주파수에 따른 효과를 비교하고자 하였다. 그 결과, 다양한 주파수를 적용한 전신진동자극 훈련은 만성 발목 불안정을 가진 성인의 발목 불안정, 관절가동범위, 정적 균형능력이 향상되었으며 10 Hz의 전신진동자극 훈련은 다른 주파수의 전신진동자극에 비하여 발목 불안정과 관절가동범위에 보다 효과적으로 작용하였다.

기능적 발목관절 불안정 평가인 AIT와 CAIT를 비교한 결과, 중재 후 세 군 모두 유의한 향상을 보였으며, I 군은 다른 두 군에 비하여 더 큰 향상을 보였다. 골격근은 진동자극을 받는 동안 근육의 길이 변화를 경험하게 되며 Ia 들신경 경로를 통해  $\alpha$ -운동신경을 조절하여 운동성 흥분의 감소 없이 근육을 활성화 시킬 수 있다 (Lebedev와 Poliakov, 1991; Lam 등, 2016). Baumbach 등(2013)은 20 Hz 이하의 변화적인 전신진동자극 훈련은 발목 불안정성이 있는 환자의 발목 불안정성 개선에 효과적이며 근 긴장도를 감소 시킬 수 있다 하였으며 (Yang 등, 2015), 30 Hz의 다른 진폭을 적용한 전신진동자극은 하지의 근육활동을 증가시킬 수 있다 보고하였다(Chang 등, 2018). 따라서 30 Hz 이하의 전신진동자극은 신체의 전반적인 근육의 긴장도를 감소시키고 하지의 근육을 효과적으로 활성화 시킨 결과라 생각되며 10 Hz의 주파수의 유의한 결과는 낮은 주파수의 이용한 근육의 이완을 통하여 발목관절 근육을 보다 효과적으로 자극하여 근육의 활성화를 유도한 결과라 생각된다 (Lienhard 등, 2017).

발목의 관절가동범위 평가인 D-flex과 P-flex을 비교한 결과, 중재 후 세 군 모두 유의한 향상을 보였으며, D-flex에서 I 군은 다른 두 군에 비하여 더 큰 향상을 보였다. 진동자극이 운동신경에 유입되면 짧은 방추연결고리(short spindle-motor neurons connection)를 통해 근방추 수용기를 자극하여 흥분성 활동이 증가하는데, 이러한 활성화는 직접적으로 진동자극을 받은 관절과 근육뿐만 아니라 주변부 조직까지 긍정적인 영향을 미친다(Lebedev와 Poliakov, 1991; Kasai 등, 1992). 30 Hz와 20 Hz의 변화적인 전신진동자극은 발목 근육의 활성화

와 함께 관절가동범위를 증가시킬 수 있으며(Baumbach 등, 2013; Lam 등, 2016), 10 Hz의 전신진동자극은 종아리 주변 근육의 가동범위를 증가시키고 특히, 발목의 발등 굽힘 관절가동범위에 효과적이라고 보고하였다 (Yang 등, 2015). 따라서 30 Hz 이하의 전신진동자극은 발목관절과 주변부의 근방추 수용기를 효과적으로 자극하여 근육의 이완을 통한 근 수축력을 유도한 결과라 생각되며 10Hz의 전신진동자극 주파수는 발목관절 근육 중 종아리 주위 근육을 보다 효과적 자극하여 나타난 결과라 생각된다.

정적 균형능력 평가인 X축, Y축, speed (동요속도)를 비교한 결과, 중재 후 정적 균형능력이 세 군 모두 유의한 향상을 보였으나, 세 군의 중재 전과 후 변화량을 비교한 결과 유의한 차이를 보이지 않았다. 감각 신경계를 통한 약한 자극은 말초 수용기의 정보를 지속적으로 필요로 하여 정적 자세조절 능력의 향상을 가져올 수 있으며 진동을 이용한 발바닥에 자극은 발목관절의 고유수용성감각을 자극하여 체간의 흔들림을 감소시킬 수 있다(Woollacott와 Shumway-cook, 2002; Kisner와 Colby, 2002). 30 Hz와 20 Hz의 전신진동자극은 신체 무게중심 이동이 감소하였다고 보고하였으며(Despina 등, 2014), 진동 주파수가 높을수록 자세유지 능력이 증가하고 주파수가 낮을수록 자세유지 시간이 감소한다고 하였다(Orr, 2015). 30 Hz 이하의 전신진동자극은 발목관절의 고유수용성감각을 효과적으로 자극하여 정적 균형능력이 향상된 결과라 생각되나 정적 균형능력은 서 있는 상태에서 체중 부하가 이루어지며 하지 근육의 기능과 협력 작용을 통하여 신체를 지지해 주고 발바닥 촉각을 이용해 신체의 자세에 대한 감각 정보가 제공되는데(Bloem 등, 2000), 주파수에 따른 전신진동자극이 균형을 잡기 위해서 제공되는 고유수용성감각에 영향을 미치지 못한 결과라 생각된다.

본 연구는 연구 대상자를 20~30대의 성인으로 선정하였으며 많은 수의 대상자를 연구에 포함시키지 못한 제한점이 있다. 또한 중재에 사용된 장비에 있어 적용 가능한 주파수 범위가 이전 연구들에 비하여 비교적 낮은 주파수 적용에 한계가 있다. 따라서 본 연구의 결과를 모든 연령대의 성인을 대상으로 일반화하여 해

석하는데 신중함이 필요하며 중재 장비 적용에 있어 객관성 문제가 될 수 있을 것이라 생각된다. 그러나 다양한 주파수에 따른 비교를 통해 발목 불안정 성인의 발목 불안정 정도와 관절가동범위, 정적 균형능력 향상에 가장 효과적인 진동 주파수를 제시할 수 있었다는 점에서 연구적 의의가 있을 것으로 본다. 향후 연구에서는 본 연구의 제한 사항을 보완한 발목관절 이외에 다른 신체분절의 안정성 및 기능 향상에 효과적인 주파수 탐색 연구들이 이루어진다면, 본 연구는 기초자료로서의 효용 가치가 높을 것으로 본다.

## V. 결론

본 연구는 발목관절의 만성 불안정성을 가진 성인을 대상으로 다양한 주파수의 전신진동자극 훈련이 발목의 불안정, 관절가동범위, 정적 균형능력에 미치는 영향을 알아보고자 하였으며, 전신진동자극 주파수에 따른 효과를 비교하고자 하였다. 그 결과 다양한 주파수를 적용한 전신진동자극 훈련은 만성 발목 불안정을 가진 성인의 발목 불안정, 발목관절 가동범위, 정적 균형능력이 향상되었으며, 10 Hz의 전신진동자극 훈련은 다른 주파수의 전신진동자극에 비하여 발목 불안정과 발목관절 가동범위에 효과적으로 작용하였다. 따라서, 다양한 주파수를 적용한 전신진동자극 훈련은 만성 발목 불안정을 가진 성인의 발목 불안정, 발목관절 가동범위, 정적 균형능력 향상에 도움을 줄 수 있으며 특히, 10 Hz의 전신진동자극 훈련은 만성 발목 불안정을 가진 성인의 발목 불안정과 발목관절 가동범위를 보다 효과적으로 향상시킬 수 있다.

## References

- Abe Y, Sugaya T, Sakamoto M. The postural control characteristics of individuals with and without a history of ankle sprain during single-leg standing: relationship between center of pressure and acceleration of the head and foot parameters. *J Phys Ther Sci.* 2014;26(6):885-8.
- Baumbach SF, Fasser M, Polzer H, et al. Study protocol: the effect of whole body vibration on acute unilateral unstable lateral ankle sprain-a biphasic randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord.* 2013; 14:22.
- Bloem BR, Allum JH, Carpenter MG, et al. Is lower leg proprioception essential for triggering human automatic postural responses? *Exp Brain Res.* 2000; 130(3):375-91.
- Chang SF, Lin PC, Yang RS, et al. The preliminary effect of whole-body vibration intervention on improving the skeletal muscle mass index, physical fitness, and quality of life among older people with sarcopenia. *BMC Geriatr.* 2018;18(1):17.
- Chen CH, Liu C, Chuang LR, et al. Chronic effects of whole-body vibration on jumping performance and body balance using different frequencies and amplitudes with identical acceleration load. *J Sci Med Sport.* 2014; 17(1):107-12.
- Despina T, George D, George T, et al. Short-term effect of whole-body vibration training on balance, flexibility and lower limb explosive strength in elite rhythmic gymnasts. *Hum Mov Sci.* 2014;33:149-58.
- Docherty CL, Gansneder BM, Arnold BL, et al. Development and reliability of the ankle instability instrument. *J Athl Train.* 2006;41(2):154-8.
- Donahue M, Simon J, Docherty CL. Critical review of self-reported functional ankle instability measures. *Foot & Ankle Int.* 2011;32(12):1140-2011.
- Fong DT, Hong Y, Chan LK, et al. A systematic review on ankle injury and ankle sprain in sports. *Sports Med.* 2007;37(1):73-94.
- Gilbreath JP, Gaven SL, Van Lunen L. The effects of mobilization with movement on dorsiflexion range of motion, dynamic balance, and self-reported function in individuals with chronic ankle instability. *Man*

Man



- Ther. 2014;19(2):152-7.
- Hertel J. Functional instability following lateral ankle sprain. *Sports Med.* 2000;29(5):361-71.
- Hintermann B. Biomechanics of the unstable ankle joint and clinical implications. *Med Sci Sports Exerc.* 1999; 31(7):459-69.
- Holmes JD, Jenkins ME, Johnson AM, et al. Validity of the Nintendo Wii® balance board for the assessment of standing balance in Parkinson's disease. *Clin Rehabil.* 2013;27(4):361-6.
- Kasai T, Kawanishi M, Yahagi S, et al. The effects of wrist muscle vibration on human voluntary elbow flexion-extension movements. *Exp Brain Res.* 1992;90(1):217-20.
- Kisner C & Colby LA. *Therapeutic exercise: foundation and techniques.* 4th ed. Philadelphia, FA Davis. 2002.
- Ko EK, Weon JH, Jung DY. Effects of direction of gliding in tibiofibular joint on angle of active ankle dorsiflexion. *J Korean Soc Phys Med.* 2014;9(4): 439-45.
- Lam FM, Liao LR, Kwok TC, et al. The effect of vertical whole-body vibration on lower limb muscle activation in elderly adults: Influence of vibration frequency, amplitude and exercise. *Maturitas.* 2016;88(1):59-64.
- Lebedev MA, Poliakov AV. Analysis of the interference electromyogram of human soleus muscle after exposure to vibration. *Neirofiziologiya.* 1991;23(1): 57-65.
- Lienhard K, Vienneau J, Nigg S, et al. Older adults show higher increases in lower-limb muscle activity during whole-body vibration exercise. *J Biomech.* 2017; 8(52):55-60.
- Orr R. The effect of whole body vibration exposure on balance and functional mobility in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Maturitas.* 2015;80(4): 342-58.
- Park DS, Lee DY, Choi SJ, et al. Reliability and validity of the balancia using wii balance board for assessment of balance with stroke patients. *J Korea Acad Coop Soc.* 2013;14(6):2767-72.
- Park KH, Kim WB. The effects of ankle strategy exercise on balance of patients with hemiplegia. *J Korean Soc Phys Med.* 2014;9(1):75-82.
- Pak JY, Ahn YJ, Song YJ. A study on isokinetic strength and range of motion of low extremity in fin-swimming athletes with chronic ankle instability. *Journal of Sport and Leisure Studies.* 2012;50(2):835-44.
- Park SK, Yoon SJ. Isokinetic strength of lower extremities in women with chronic inversion ankle sprain. *Health & Sports Med.* 2012;14(3):93-101.
- Sawkins K, Refshauge K, Kilbreath S, et al. The placebo effect of ankle taping in ankle instability. *Med Sci Sports Exercise.* 2007;39(5):781-90.
- Seo HG, Oh BM, Leigh JH, et al. Effect of focal muscle vibration on calf muscle spasticity: a proof-of-concept study. *PMR.* 2016;8(11):1083-9.
- Tankisheva E, Bogaerts A, Boonen S, et al. Effects of intensive whole-body vibration training on muscle strength and balance in adults with chronic stroke: a randomized controlled pilot study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2014;95(3):439-46.
- Thomas JL, Boyce BM. Radiographic analysis of the canale view for displaced talar neck fractures. *J Foot Ankle Surg.* 2012;51(2):187-90.
- Wang P, Yang L, Li H, et al. Effects of whole-body vibration training with quadriceps strengthening exercise on functioning and gait parameters in patients with medial compartment knee osteoarthritis: a randomised controlled preliminary study. *Physiotherapy.* 2016; 102(1):86-92.
- Williams CM, Caserta AJ, Haines TP. The Tilt Meter app is a novel and accurate measurement tool for the weight bearing lunge test. *J Sci Med Sport.* 2013; 16(5):392-5.
- Woollacott M, Shumway-Cook A. Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area

- of research. *Gait Posture*. 2002;16(1):1-14.
- Yang F, King GA, Dillon L, et al. Controlled whole-body vibration training reduces risk of falls among community-dwelling older adults. *J Biomech*. 2015; 48(12):3206-12.
- Yeo SS, Kwon JW, Kim CS. The effects of ankle joint angle on knee extensor electromyographic activity. *J Korean Soc Phys Med*. 2009;4(1):15-21.