

수직 진동 운동이 노인의 균형, 보행속도, 근력 및 낙상효능감에 미치는 효과

박진환 · 김영민[†]

한국보훈복지의료공단 원주보훈요양원, ¹한국교통대학교 물리치료학과

Effect of Exercise with Vertical Vibration on the Balance, Walking Speed, Muscle Strength and Falls Efficacy in the Elderly

Jin-Hwan Park, PT, MS · Young-Min Kim, PT, PhD[†]

Department of Physical Therapy, Korea Veterans Health Service Wonju Nursing Home

¹Department of Physical Therapy, Korea National University of Transportation

Received: August 13, 2020 / Revised: August 18, 2020 / Accepted: November 4, 2020

© 2020 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: The purpose of this study was to determine if an exercise program with vertical vibration can improve balance, walking speed, muscle strength and falls efficacy in the healthy elderly.

METHODS: A total of 28 elderly were randomly divided into two groups: vertical vibration exercise group (exercise with vertical vibration) (N = 14) and control group (exercise without vibration) (N = 14). The exercise program, comprising calf raise, deep-squat, semi-squat, front lunge, and leg abduction was conducted with or without vibration, respectively. Subjects in each group participated in the 30 minutes training program, 2 times per week for 6 weeks. In both groups, the balance evaluation system (BT4) was used to evaluate standing balance, and walking speed was measured using the 10MWT. The manual muscle test system

was applied to evaluate the knee extensor and ankle plantar flexor muscle strength of the subjects, whereas the Korean falls efficacy scale (K-FES) evaluated the falls efficacy.

RESULTS: After intervention, the vertical vibration group showed significantly higher changes compared to the control group, in the parameters of standing balance ($P < .05$), 10MWT ($P < .05$), left knee extensor ($P < .05$), right knee extensor ($P < .01$), both ankle plantar flexors ($P < .05$), and K-FES ($P < .05$).

CONCLUSION: The exercise program with vertical vibration has the potential to improve balance, walking speed, muscle power and falls efficacy in the elderly.

Key Words: Vertical vibration, Elderly, Walking speed, Balance, Falls efficacy

I. 서 론

전 세계적으로 의학의 급속한 발달과 개인 건강에 대한 관심의 증가로 평균 수명이 80세를 넘어 노인인구의 비율이 급격히 증가하고 있다[1]. 인구의 고령화 현상이 심해짐에 따라 노인의 건강문제가 중요한 사회 문제로 인식되고 있으며 그 중에서도 낙상은 노인의 건강을 위협하는 심각한 문제로 이환율과 사망률 증가

본 논문은 박진환(2018)의 석사 학위 논문의 요약본임.

[†]Corresponding Author : Young-Min Kim

ymkim@ut.ac.kr, <https://orcid.org/0000-0003-1456-9946>

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.

의 주된 원인 중의 하나이며, 노인의 경우 젊은 연령층보다 낙상위험이 10배 정도 높아진다고 보고되고 있다[2].

노인의 낙상위험 요인은 크게 신체적 기능감퇴로 인한 내적 요인과 환경과 관련된 외적 요인으로 분류할 수 있다. 내적 요인으로는 연령, 성별, 시력장애, 하지 근력의 약화, 균형감각 및 보행능력의 저하, 인지장애, 3-4가지 이상의 약물복용 등과 같은 요인들이 있으며 [3], 외적 요인으로는 낙상이 발생하는 계절, 시간, 난간이 없는 계단, 흐린 조명등과 같은 환경적 장애물과 동거상태 등의 요인들이 있다[4]. 이렇듯 낙상은 하나의 요인에 의해 발생하기보다는 여러 요인이 복합적으로 작용하여 일어난다. 특히 노화로 인한 신체기능의 저하로 나타난 균형감각의 저하와 보행능력의 문제 및 하지 근력의 감소는 낙상을 유발하는 위험요인으로 알려져 있다[5].

균형은 수의적인 자세조절을 하면서 변화하는 환경에 적절하게 반응하여 자세를 유지하는 복합적인 과정으로, 노인의 경우 연령이 증가함에 따라 신체의 노화로 인해 고유수용성 감각이 감퇴되고, 인지능력의 감소와, 반응시간, 체중이동시간이 길어져 노인의 균형유지능력은 낮아지게 된다. 노인의 균형능력의 저하는 보행속도가 늦고 보폭이 좁아지는 결과를 만들어 낙상의 위험성을 더욱 증가시키게 된다[6]. 보행은 일상생활을 수행하는데 필수적인 요소이므로, 노인의 보행능력의 저하는 낙상과 추락의 위험성을 증가시켜 보건학적으로 심각한 문제를 일으킬 수 있다.

하지 근력의 약화도 안정성, 보행능력 및 균형능력을 감소시켜 노인에서 낙상을 일으키는 주된 원인이 된다[7]. 특히 족관절 배측굴곡 근력의 약화는 노인의 균형 유지능력을 크게 감소시킨다고 보고되었다[8]. 하지 근력의 약화는 또한 노인의 운동성 및 이동성의 제한을 초래하게 되어 노인의 근력을 더욱 약화시키는 악순환을 발생시키게 된다[9].

낙상을 경험한 노인은 신체적 손상으로부터 회복되었다 하더라도 낙상의 두려움으로 인한 사회적 고립과 더불어 우울증과 자신감 상실 등을 동반하게 된다[10]. 65세 이상 재가 노인 중 낙상을 경험한 673명을 대상으로 한 연구에서 대상자의 25~55%가 낙상에 대한 두려

움을 느낀다고 하였으며[11], 이러한 낙상에 대한 두려움은 낙상효능감으로 나타낼 수 있는데, 낙상효능감이란 일상생활을 하면서 특정 활동을 수행하는 동안 낙상하지 않을 것이라는 지각된 자신감 정도를 의미하며 [12], 낙상과 연관성이 높은 인자에 대한 자기 보고서 방식의 측정으로 낙상을 예견하는 중요한 요소로 인식되고 있다[13].

노인을 대상으로 낙상을 예방하기 위한 다양한 운동 프로그램이 시도되어 왔으나 외부에서 시행하는 경우 날씨의 영향을 받고, 근육운동 시 저항운동의 특성상 과도한 무게에 따른 인체의 무리한 자극으로 상해를 유발할 수 있는 위험요인이 있으며, 복잡한 동작으로 구성되어 있으면 노인 스스로 운동을 하는데 어려움이 있었다.

최근 이러한 활동의 대안으로 수직 진동이 발생하는 전신진동기 위에서의 운동이 대두되고 있다. 수직 진동 운동은 노인의 균형과 근력, 보행능력을 향상시키는 안전하고 효과적인 중재 방법으로[14-16], 노인의 낙상 위험을 감소시키며[17], 자세적 안정성에 효과가 있음이 보고되었다[18,19]. 수직 진동의 중재는 파킨슨병 환자의 안정적 자세유지 능력을 향상시키며[20], 뇌졸중 환자의 균형과 체간조절 기능에 효과적임이 보고되었다[21].

노인에게 수직 진동 운동을 적용한 선행연구는 국내의 경우 노인을 대상으로 한 연구보다는 뇌졸중환자[22], 척수손상환자[23] 및 뇌성마비환자[24]와 같은 신경학적 손상이 있는 환자를 대상으로 한 연구가 대부분이었으며, 운동중재 방법에서는 한 가지 동작을 취해 유지하는 정적인 운동만을 실시하는 경우가 많았고 [15,16], 낙상효능감의 향상을 연구한 경우가 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 건강한 노인을 대상으로 수직 진동이 가해지는 전신진동기 위에서 보행기능 향상에 필요한 여러 가지 동적인 운동을 적용하는 것이 노인의 균형능력, 보행속도, 하지 근력, 낙상효능감에 미치는 효과를 알아봄으로써 낙상예방을 위한 중재방법의 하나로 전신진동기의 활용가능성을 확인하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구 대상자는 J시에 소재한 M병원의 간병인, 보호자 및 직원들 중 65세 이상의 건강한 노인 28명을 선정하였고, 선정된 대상자 28명에 대하여 숫자 1, 2가 적힌 메모지 중 한 장을 뽑도록 하여 진동운동군과 대조군으로 각각 14명씩 무작위 배정하였다.

대상자는 연구의 내용과 목적, 실험 절차, 연구의 안정성 등에 대한 충분한 설명을 들은 뒤 자발적으로 연구에 참여하도록 하였고 그에 대한 서면 동의를 얻었으며, 두 집단에게 동일한 측정도구로 본 연구자가 직접 사전 및 사후 검사를 실시하였다. 본 연구는 한국교통대학교 기관생명윤리심의의 승인[승인번호 KNUT IRB - 49(2017)]을 받은 후 진행되었으며, 두 집단 모두에게 본 연구에 대하여 설명하고 연구 참여에 대한 서면 동의를 얻은 후 실험에 참여하였다.

본 연구의 선정 기준은 1) 65세 이상 건강한 노인, 2) squat 자세를 취할 수 있는 자, 3) 보조도구 없이 보행이 가능한 자, 4) 한국형 간이정신 상태 검사(Mini-mental state examination, MMSE-K) 점수가 24점 이상인 자로 하였으며, 제외기준은 1) 심혈관 질환, 신장, 간질환, 또는 인지적 문제를 가진 자, 2) 심박조절기를 착용중인 자, 3) 보행 능력에 영향을 줄 수 있는 전정계나 시각 손상이 있는 자, 4) 무릎 및 고관절에 인공조형물 수술을 받은 자, 5) 전신진동운동에 영향을 줄 수 있는 골절과 같은 정형외과적 문제가 있는 자, 6) 규칙적인 운동이나 다른 운동 프로그램에 참여중인 자로 하였으며, 본 연구 기간 중 포기의사를 밝힌자, 신체적 불안정과 정신적인 불안정성이 발생한 자와 본 연구 중 정형 외과적 질환이 발생한 자는 연구에서 제외 할 수 있도록 하였으며, 연구의 참여율이 80% 이하인 자는 연구에서 제외하였다.

2. 연구도구

1) 중재 도구 및 중재방법

(1) 중재 도구

본 연구에서 수직 진동 운동은 수직 전신진동운동기 (VM-10, Sonicworld., Ltd., Korea)를 사용하였다. 연구에

사용된 전신진동기의 구동 방식은 기존의 회전모터나 시소 방식이 아닌 스피커 진동원리를 이용한 보이스 코일 모터 방식을 응용한 것으로 진동형태는 진동판 (Plate)에서 인체방향으로 수직 진동을 제공하는 형태로 주파수는 1~99 Hz까지 조절이 가능하며 진폭은 1~50 mm까지 제공된다. 진동기의 크기는 가로 700 mm, 세로 820 mm, 높이 1,450 mm이며 전체구조는 화면 표시부, 제어 및 전원부, 구동부로 나뉘어져 있다. 또한 터치 모니터를 이용한 직관적인 인터페이스를 적용하여 사용자가 손쉽게 조작할 수 있도록 제작되었다. 또한 최대 210kg의 무게까지 사용 가능하며, 저주파 대역까지 구동이 가능하여 고령자나 재활이 필요한 환자들도 인체에 무리를 주지 않고 사용할 수 있는 진동기이다.

(2) 중재 방법

진동운동군에 적용한 운동은 5분간의 준비 운동, 20분간의 본 운동, 5분간의 정리 운동으로 구성하였으며, 준비 운동과 정리 운동은 하지의 스트레칭을 시행하였다. 전신진동기를 이용한 운동 프로그램의 구성은 선행 연구 [25,26]를 수정보완 하여 6주간 주 2회, 30분 실시하였다.

운동 방법은 진동판 위에 서서 어떤 외부적인 부하 없이 자신의 체중만으로 ① Calf raise, ② Deep-squat(90°), ③ Semi-squat(45°)+Calf raise, ④ Front lunge, ⑤ Leg abduction의 5가지 동작을 시행하였는데, 한 가지 동작을 구심성 수축 2초, 원심성 수축 3초를 2분 동안 반복 시행하고, 30초 휴식 후 다음 동작으로 넘어가도록 하여 10분씩 2세트로 20분간 시행하였다(Fig. 1).

운동중 적용한 주파수는 선행연구[27]에서 근활성도가 가장 높았던 주파수인 20-30 HZ의 범위를 설정하였고, 진폭은 3 mm로 동일하게 진행하였다, 주파수는 훈련 처음 2주는 20 Hz에서 시작하여 2주에 5 Hz씩 증가시켜서 3-4주 25 Hz, 5-6주 30 Hz를 적용하였다.

또한 수직 진동 운동시 플랫폼의 진동이 신발 쿠션에 의해 완충 될 것을 고려하여 모든 대상자는 신발을 착용하지 않고 실시하였으며, 핸드레일의 사용은 최소화하도록 하였다. 훈련하는 동안 대상자의 운동 자각정도 (Borg Scale)와 맥박, 혈압 등을 고려하여 휴식 및 운동 강도를 결정하였으며, 안전을 확보하기 위하여 치료사 1인이 대상자의 뒤에 서서 감독하였다.

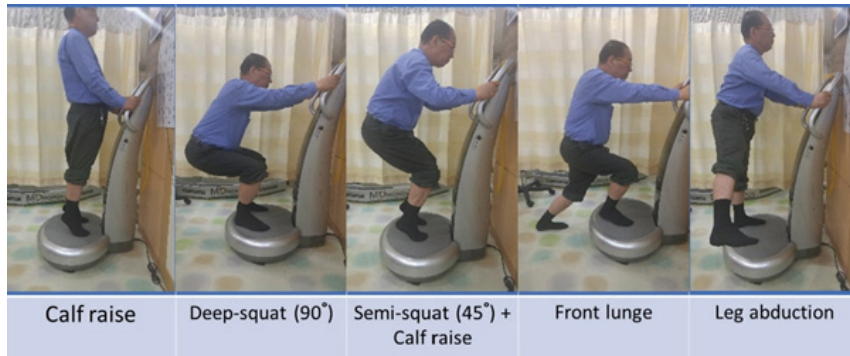


Fig. 1. Whole body vibration exercise.

대조군은 운동의 빈도, 기간, 휴식 시간, 운동자세 등은 실험군과 모두 동일하게 하였으나 진동판 위에서 진동을 제외한 상태에서 실험군과 동일한 운동을 실시하였다.

2) 측정도구 및 측정방법

(1) 균형 평가

연구 대상자의 균형을 평가하기 위하여, 노인과 뇌졸중 환자들의 균형을 측정하는 장비로 널리 알려진 균형 측정시스템(BT-4 force platform, Hur, Kkoarla, Finland)을 사용하여 압력중심점의 동요거리(Sway length: SL), 압력중심점의 동요면적(Sway area: SA)을 측정하였다. 본 측정도구는 100 Hz의 표본 추출률을 가지고 있으며, 4각형의 형태로 각 사변의 꼭지점에는 측정센서(Strain gauge)가 내장되어 있어 압력중심을 감지하여 데이터를 수집하는 장치이다. 4각형의 플랫폼 위에서 연구 대상자의 자세를 돕기 위해 발의 위치가 표시되어 있으며, 4개의 센서를 통해서 연구 대상자의 압력중심을 찾아내고 시간에 따른 자세동요를 Smart-suit balance 소프트웨어1.4를 통해서 균형능력을 분석, 측정할 수 있다. 본 검사의 측정자 내 신뢰도 ICC = .80 - .90 이다[28].

압력중심점의 동요거리(SL)와 동요면적(SA) 측정은 맨발로 선 자세에서 양 뒤꿈치를 2 cm로 간격을 유지하고 각 발은 15°씩 외측으로 향하게 하였으며, 양 손은 바지 단에 자연스럽게 위치한 상태에서 시선은 전방 15° 지점을 향하도록 한 후 30초 동안 측정하였다[29]. 압력중심점의 동요거리(SL)와 동요면적(SA) 측정

은 눈을 뜬 상태(Eyes open: EO)와 감은 상태(Eyes close: EC)에서 각 30초씩 측정하였으며, 정적 균형능력이 좋을수록 이동경로선의 길이가 짧고 면적이 좁으며, 나쁠수록 길이가 길고, 면적이 넓다고 해석한다.

검사 시 발생할 수 있는 안전사고를 방지하기 위하여 본 연구에 가담하지 않은 검사자가 환자의 뒤에 위치하여 보조하도록 하였다.

(2) 보행속도 평가

보행속도 평가를 위해 측정자내 신뢰도 $r = 0.95$, 측정자간 신뢰도 $r = 0.97$ 의 높은 신뢰도와 타당도가 인정된 10 m 보행 검사(10 meter walk test, 10MWT)를 사용하였다. 10 m 보행 검사는 보행 개시 이후 안정상태의 보행속도를 측정하기 위한 평가도구이다[30]. 총 14 m의 보행 구간 중 가속기 2 m와 감속기 2 m의 구간을 제외하여 10 m 보행 구간을 초시계를 이용하여 측정하였다. 본 연구에서는 1회 연습을 진행하였고, 그 후 2회 반복 측정하여 평균값을 사용하였다.

(3) 근력 평가

본 연구에서 좌·우 무릎관절 신전근 근력을 평가하기 위해 도수근력검사기(Manual muscle tester, Model 01163, Lafayette, USA)를 사용하였다(Fig. 2). 본 측정장비는 자동적으로 최대 근력, 평균, 변동계수, 좌우 근력 차이 등을 계산할 수 있으며, 최대 근력 역치를 정할 수 있는 장비로 고강도에서 0.2 kg 단위로 0-136.1 kg 범위까지 측정가능 하며, 저강도에서 0.1 kg 단위로



Fig. 2. Manual muscle tester.

0~22.6 kg 범위까지 측정이 가능하고 측정의 오차는 $\pm 1\%$ 이다. 각 근육은 최대 등척성 수축 시 나타나는 압력을 측정하였다. 검사자내 신뢰도 $r = .84\sim.99$, 검사자간 신뢰도 $r = .84\sim.94$, 검사 간 신뢰도 $r = .98\sim.99$ 이다[31]. 측정은 1회 연습 측정을 하고 2회~3회 측정값의 평균을 기록하였고, 근 피로를 배제하기 위하여 각 측정 간 15초 동안 휴식을 취하였다.

측정 자세와 측정 방법은 선행연구와 같은 방법을 이용하였다[32]. 슬관절 신전근력 측정은 침대 가장자리에 걸터앉은 자세에서 대상자의 발목 앞부분에 압력판을 대고, 무릎을 펴도록 지시한 후 7초 동안 유지하는 힘을 측정하였다. 족관절 저축굴곡 근력의 측정은 무릎을 펴고 앉은 자세(Long sitting)에서 검사자가 측정기의 압력판을 발바닥 원위부에 대고, 7초 동안 유지하는 힘을 측정하였다.

(4) 낙상효능감 평가

낙상효능감은 Tinetti 등[13]이 개발한 낙상 효능감 척도를 한국어로 번역한 한국판 낙상 효능감 척도(Korean Version Falls Efficacy Scale, K-FES)를 이용하여 측정하였다. 환자와 1:1 인터뷰를 통해서 일상생활에 필요한 10가지 행동을 수행하는 데 따르는 두려움을 1부터 10까지 숫자로 나타내며, 과제를 수행하는 동안 넘어지는 것에 전혀 자신감이 없어 두려움을 느끼면 1점, 매우 자신이 있음을 10점으로, 측정 점수 범위는 최저 10점, 최고 100점까지이고, 점수가 낮을수록 낙상에 대하여 두려움을 많이 느끼는 의미를 의미한다. 이 척도 문항의 내적 합치도는 Cronbach's $\alpha = .84$ 였다[33].

3. 자료 처리

본 연구의 대상자 수 설정은 선행연구 결과에 대하여 G-Power Ver. 3.1을 이용하여 산출하였다. 두 군의 할당 비율 1:1, 알파 수준은 .05 그리고 검정력(β)은 .95로 설정하였고, 효과크기는 1.55 이었다. 그 결과 총 Sample size는 24명으로 확인되었는데, 대상자의 건강상태와 중재의 안정성에 따른 탈락률을 고려하여 28명(진동운동군 14명, 대조군 14명)으로 정하였다.

수집된 자료의 통계처리는 SPSS Ver. 21.0 통계 프로그램을 사용하였다(SPSS Inc., Chicago, IL, USA). 모든 변수의 자료는 Shapiro-Wilk 검정으로 정규성이 확인되어, 대상자의 일반적인 특성을 비교하기 위하여 카이제곱 검정 및 독립 t 검정을 실시하였고, 각 군의 사전 종속변수의 동질성 검정을 위해 독립 t 검정을 이용한 결과 유의한 차이를 보이지 않아($p > .05$) 동질성을 확인하였다. 대조군과 실험군의 중재 전후 차이 비교는 대응 t-검정을, 두 군간 차이 비교는 독립 t-검정을 이용해 분석하였다. 통계학적 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

III. 연구결과

1. 연구 대상자의 일반적 특성

연구에 참가한 대상자의 일반적 특성을 보면 성별에서 진동운동군은 남성 5명(35.7%), 여성 9명(64.3%)이었으며, 대조군은 남성 4명(21.4%), 여성 10명(78.6%)으로 두 집단 모두 여자가 남자보다 더 많았다(Table 1). 평균 연령에서 진동운동군은 69.92 ± 2.16 , 대조군은 69.35 ± 3.41 세였고, 평균 신장은 진동운동군은 158.02 ± 6.97 cm, 대조군은 156.78 ± 8.06 cm이었으며, 평균 체중에서는 진동운동군은 64.33 ± 8.81 kg, 대조군은 59.00 ± 1.49 kg이었다. 각 그룹의 한국형 간이정신상태 검사, 체성분분석, 골격근량, 체지방량, 체지방률 등 일반적 특성의 변수 및 모든 변수의 초기 평가에서 두 군 간에 유의한 차이가 없었다.

2. 균형능력의 변화

1) 압력중심점 동요거리의 변화

눈을 뜬 상태에서 압력중심점 동요거리(SLEO)의 중

Table 1. General Characteristics of All Subjects

(N = 28)

Variables	Vibration Group (n = 14)	Control Group (n = 14)	χ^2/t	p
	Mean \pm SD	Mean \pm SD		
Sex (male / female)	5 / 9	4 / 10	-.816	.422
Age (years)	69.92 \pm 2.16	69.35 \pm 3.41	-1.323	.197
Height (cm)	158.02 \pm 6.97	156.78 \pm 8.06	.433	.668
Weight (kg)	64.33 \pm 8.81	59.00 \pm 1.49	1.791	.085
MMSE-K (scores)	27.57 \pm 1.78	28.07 \pm 1.49	-.804	.429
BMI (kg/m ²)	25.57 \pm 3.55	23.44 \pm 3.25	1.657	.109
SMM (kg)	22.26 \pm 3.91	22.05 \pm 4.43	.136	.893
BFM (kg)	23.54 \pm 8.42	19.98 \pm 3.26	1.473	.153
PBF (%)	41.14 \pm 6.82	40.52 \pm 7.28	.230	.820

MMSE-K: Mini-Mental Status Examination-Korean version

BMI: Body mass index, SMM: Skeletal Muscle Mass, BFM: Body Fat Mass, PBF: Percent Body Fat

Table 2. Comparison of the Sway Length and Sway Area

		Vibration Group (n = 14)	Control Group (n = 14)	t	p
		Mean \pm SD	Mean \pm SD		
SLEO	Pre	244.87 \pm 25.31	257.81 \pm 31.26	-.944	.354
	Post	242.99 \pm 27.20	256.70 \pm 31.59		
	Post-Pre	-1.87 \pm 3.49	-1.11 \pm 3.06	-.552	.587
	t	1.856	1.204		
	p	.090	.256		
SLEC	Pre	315.82 \pm 26.17	314.72 \pm 24.35	-.175	.863
	Post	311.41 \pm 27.40	313.28 \pm 23.37		
	Post-Pre	-4.45 \pm 4.34	-1.44 \pm 1.98	-2.106	.047*
	t	3.550	2.408		
	p	.005**	.037*		
SAEO	Pre	274.67 \pm 22.89	277.59 \pm 24.29	-.182	.857
	Post	273.79 \pm 22.50	276.49 \pm 23.03		
	Post-Pre	-.87 \pm 1.58	-1.10 \pm 2.48	.274	.787
	t	1.907	1.479		
	p	.083	.170		
SAEC	Pre	334.74 \pm 25.73	338.87 \pm 24.64	.468	.644
	Post	331.67 \pm 26.19	335.64 \pm 24.61		
	Post-Pre	-3.27 \pm 3.70	-3.23 \pm 4.68	-.023	.982
	t	3.062	2.286		
	p	.011*	.045*		

*p < .05, **p < .01

SLEO : Sway length eyes open, SLEC : Sway length eyes close

SAEO : Sway area eyes open, SAEC : Sway area eyes close

재 전·후 비교에서 진동운동군과 대조군 모두 중재 유의한 차이가 나타나지 않았다. 진동운동군과 대조군의 전후 변화량 차이를 비교해보면 진동운동군이 대조

군보다 변화량의 차이가 더 크지만 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 2).

눈을 감은 상태에서 압력중심점 동요거리(SLEC)의

Table 3. Comparison of the 10 MWT Values

	Vibration Group (n = 14)		Control Group (n = 14)		t	p
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD		
10 MWT	Pre	.87 ± .10	.88 ± .08		.412	.684
	Post	.91 ± .09	.88 ± .19			
	Post-Pre	.04 ± .05	.00 ± .01		2.381	.027*
	t	-2.976	-1.472			
	p	.013*	.172			

*p < .05

10 MWT: 10 M Walk Test

중재 전·후 비교에서 진동운동군(p < .01)과 대조군(p < .05) 모두 유의한 차이가 나타났다. 진동운동군과 대조군의 전후 변화량을 비교해보면 진동운동군이 대조군보다 변화량의 차이가 더 크고 통계적으로 유의하였다(p < .05)(Table 2).

2) 압력중심점 동요면적의 변화

눈을 뜬 상태에서 압력중심점 동요면적(SAEO)의 중재 전·후 비교에서 진동운동군과 대조군 모두 유의한 차이가 나타나지 않았다. 진동운동군과 대조군의 전후 변화량을 비교해보면 두 그룹 간 통계적으로 유의한 차이 또한 보이지 않았다(Table 2).

눈을 감은 상태에서 압력중심점 동요면적(SAEC)의 중재 전·후 비교에서 진동운동군과 대조군 모두 유의한 차이가 나타났다(p < .05). 진동운동군과 대조군의 전후 변화량을 비교해보면 진동운동군이 대조군보다 변화량의 차이가 더 크지만 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 2).

3. 보행속도의 변화

보행속도의 중재 전·후 비교에서 진동운동군에서는 유의한 차이가 나타났으나(p < .05), 대조군은 유의한 차이가 나타나지 않았다. 진동운동군과 대조군의 그룹간 전·후 변화량의 비교에서는 진동운동군이 대조군보다 변화량의 차이가 더 크고 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p < .05)(Table 3).

4. 근력의 변화

1) 슬관절 신전 근력의 변화

좌측 슬관절 신전근력의 중재 전·후 비교에서 진동운동군(p < .01)과 대조군(p < .05) 모두 유의한 차이가 나타났다. 진동운동군과 대조군의 전후 변화량을 비교해보면 진동운동군이 대조군보다 변화량의 차이가 더 크고 통계적으로 유의하였다(p < .05)(Table 4).

우측 슬관절 신전근력의 중재 전·후 비교에서 진동운동군(p < .01)과 대조군(p < .05) 모두 유의한 차이가 나타났다. 진동운동군과 대조군의 전후 변화량을 비교해보면 진동운동군이 대조군보다 변화량의 차이가 더 크고 통계적으로 유의하였다(p < .01)(Table 4).

2) 족관절 저축굴곡 근력의 변화

좌측 족관절 저축굴곡 근력의 중재 전·후 비교에서 진동운동군에서는 유의한 차이가 나타났으나(p < .01), 대조군은 유의한 차이가 나타나지 않았다. 진동운동군과 대조군의 전후 변화량을 비교해보면 진동운동군이 대조군보다 변화량의 차이가 더 크고 통계적으로 유의하였다(p < .05)(Table 4).

우측 족관절 저축굴곡 근력의 중재 전·후 비교에서 진동운동군(p < .01)과 대조군(p < .05) 모두 유의한 차이가 나타났다. 진동운동군과 대조군의 전후 변화량 차이를 비교해보면 진동운동군이 대조군보다 변화량의 차이가 더 크고 통계적으로 유의하였다(p < .05)(Table 4).

Table 4. Comparison of Muscle Strength

		Vibration Group (n = 14)	Control Group (n = 14)	t	p
		Mean ± SD	Mean ± SD		
(Left) Knee Extensor (kg)	Pre	22.64 ± 1.85	23.18 ± 2.71	.041	.967
	Post	23.35 ± 1.81	23.43 ± 2.91		
	Post-Pre	.71 ± .53	.23 ± .36	2.459	.023*
	t	-4.623	-2.249		
	p	.001**	.048*		
(Right) Knee Extensor (kg)	Pre	24.00 ± 2.48	23.97 ± 2.82	.276	.784
	Post	24.76 ± 2.38	24.24 ± 2.99		
	Post-Pre	.76 ± .62	.27 ± .38	2.878	.009**
	t	-4.674	-2.338		
	p	.001**	.042*		
(Left) Ankle Planter Flexor (kg)	Pre	15.06 ± 1.65	15.13 ± 1.90	-.049	.960
	Post	15.33 ± 1.55	15.21 ± 1.91		
	Post-Pre	.26 ± .25	.07 ± .14	2.159	.043*
	t	-3.603	-1.748		
	p	.004**	.111		
(Right) Ankle Planter Flexor (kg)	Pre	15.21 ± 1.63	15.60 ± 1.94	-.253	.802
	Post	15.59 ± 1.57	15.74 ± 1.89		
	Post-Pre	.37 ± .32	.13 ± .19	2.091	.049*
	t	-3.986	-2.292		
	p	.002**	.045*		

*p < .05, **p < .01

5. 낙상효능감의 변화

낙상효능감(K-FES)의 중재 전·후 비교에서 진동운동군에서는 유의한 차이가 나타났으나(p < .01). 대조군은 유의한 차이가 나타나지 않았다. 진동운동군과 대조군의 전후 변화량을 비교해보면 진동운동군이 대조군보다 변화량의 차이가 더 크고 통계적으로 유의하였다(p < .05)(Table 5).

IV. 고 찰

수직 진동 운동은 진동에 의한 기계적 자극으로 근-건복합체의 길이에 빠르고 짧은 변화를 생산하고 이것은 긴장성 진동반사라는 반사적 근수축을 이끌어내는

원리로 척수 반사를 통해 근육을 자극하는 새로운 운동 방법 중 하나이다[18]. 수직 진동 운동은 인체에 특별한 부작용이 없으면서 과도한 노력을 요하지 않아 심장에 큰 무리를 주지 않으며, 다른 운동방법과 비교하여 운동방법을 익히기 위한 특별한 노력이 필요하지 않아 쉽게 적용이 가능하다는 장점이 있다[34]. 이러한 장점으로 인해 최근 몇 년간 대체 의학 분야와 스포츠 분야 및 물리치료분야에 이르기까지 꾸준한 관심을 받고 있으며, 운동선수의 경기력 향상을 위한 훈련[35]에서부터 뇌졸중 환자[21] 및 척수손상 환자[24]의 재활, 만성 요통[36]의 치료, 골다공증 예방치료[37] 등 다양한 범위에서 진동의 효과에 대한 유용성이 긍정적으로 평가되어 왔다.

Table 5. Comparison of K-FES Values

	Vibration Group (n = 14)		Control Group (n = 14)		t	p
		Mean ± SD		Mean ± SD		
K-FES	Pre	71.83 ± 5.14		74.00 ± 2.64	-.482	.633
	Post	73.00 ± 5.18		74.27 ± 2.53		
	Post-Pre	1.16 ± .93		.27 ± .46	2.851	.010*
	t	-4.311		-1.936		
	p	.001**		.082		

*p < .05, **p < .01

K-FES: Korean Version Falls efficacy scale

본 연구에서 사용된 진동 장비는 상·하로 움직이는 정현파(Sinusoidal)진동기로 진동의 빈도, 크기, 강도 등은 진동주파수, 진동판의 진폭, 가속도 및 운동소요시간, 대상자의 자세 등에 의해 결정된다[34]. 진동판의 진동주파수와 진폭의 증가는 큰 운동부하를 가져오며, 운동시간과 휴식시간이 운동효과에 영향을 주고, 운동 자세에 따라 운동부하는 달라지게 된다. 이중 가장 중요한 요소는 진동 주파수라 할 수 있는데, 20 Hz 이하의 주파수는 근육의 과도한 이완을 유도하며, 50 Hz를 넘는 주파수는 근육통을 유발시킬 가능성이 높다[38]. Cardinale 등[38]의 연구에서는 과도한 근력운동을 하는 운동선수를 제외하고 일반대상자에게 70 Hz 이상의 주파수는 근육 손상을 줄 수 있기 때문에 20~50 Hz의 진동을 사용할 것을 권장하였다.

Ritzmann 등[27]은 건강한 성인을 대상으로 0 Hz에서 30 Hz까지의 범위에서 5 Hz씩 증가시켜 전경골근, 가자미근, 비복근, 대퇴직근의 근전도 값을 측정하고 결과 30 Hz에서 근전도 값이 가장 높게 나타나는 것으로 보고하였다. 따라서 본 연구에서도 선행 연구를 바탕으로 안전하면서 근활성도가 가장 높게 나타났던 30 Hz를 사용하였다.

본 연구에서 정적균형 능력을 평가하기 위하여 압력 중심점의 동요거리와 동요면적의 변화를 측정하였다. 중재 전과 중재 후의 균형능력의 변화를 보면 눈을 뜬 상태에서의 동요거리와 동요면적에서 진동운동군과 대조군 모두에서 유의한 감소를 보이지 못했으나, 눈을 감은 상태에서는 동요거리와 동요면적이 진동운동군

과 대조군 모두에서 유의한 감소를 보였다. 집단간 비교에서는 눈을 감은 상태의 동요거리에서 진동운동군이 대조군보다 통계적으로 유의한 감소를 보인 것으로 나타났다.

이는 폐경기 여성 46명을 대상으로 12주간 중재한 결과 부하자극을 병행한 진동운동군에서 눈을 뜬 상태와 눈을 감은 상태 모두에서 압력중심점의 동요거리에서 유의한 감소를 보였으며, 부하자극 없는 진동운동군에서는 눈을 감은 상태에서 유의한 감소를 보였다는 신승섭[40]의 연구결과와 일치하였다. Rees 등[42]의 연구에서는 70세 이상의 남녀 노인 43명을 대상으로 수직 진동운동 중재 후 한 발 서기 시간이 유의하게 증가된 결과를 보였으며, 대상자는 다르나 Van Nes 등[42]의 연구에서는 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 전신 진동운동을 실시한 결과 눈을 감은 상태에서만 자세동요가 유의하게 감소한 것으로 나타났다.

본 연구와 여러 선행연구의 결과에서 볼 수 있듯이 눈을 감은 상태에서 동요거리와 동요면적에 차이가 있는 이유는 눈을 감은 상태에서는 시각적 정보가 균형을 유지하기 위해 보상적으로 작용하지 않아 고유 수용성 감각에 더욱 많은 의존을 하였기 때문에 전신진동의 자극으로 고유수용성감각의 향상된 결과로 균형능력이 증진된 것으로 추론할 수 있다.

보행속도의 변화를 알아보기 위해 10미터 걷기 검사를 측정한 결과 중재 전과 중재 후의 보행속도의 변화는 진동운동군에서 .04 m/s 향상되어 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, 대조군에서는 통계적으로 유의한 차

이를 보이지 않았다. 진동운동군과 대조군의 변화량 비교에서 진동운동군이 대조군보다 변화량의 차이가 크고 통계적으로 유의한 차이가 나타났다.

Avlar 등[43]의 연구에서 무릎골관절염환자를 대상으로 12주간 수직 진동운동을 실행한 결과 진동이 없는 대조군보다 6분 걷기 검사에서 유의한 차이를 보였으며, Kawanabe 등[14]의 연구에서는 노인을 대상으로 12주간 전신진동과 추가적인 일반운동을 적용한 결과 8주 증재 후부터 10 MWT에서 향상을 보이므로서, 수직 진동운동은 노인의 보행속도와 보행주기를 향상시키는 안전하고 효과적인 운동이라고 보고 하였다. 인태성[24]의 연구에서는 뇌졸중 환자를 대상으로 6주간 수직 진동운동을 증재한 결과 일어나 걷기 검사에서 수직 진동운동그룹에서 유의하게 감소하였고, 수직 진동운동그룹이 대조군 보다 운동 전·후의 변화량이 유의하게 개선되었다. 본 연구결과는 선행 연구결과와 일치하였으며, 본 연구는 진동자극을 이용하여 균형능력의 향상과 보행능력까지 긍정적인 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

본 연구의 결과 보행속도의 유의한 차이를 보인 이유는 수직 진동 중에 시행된 다양한 Squat 자세와 다리 외전 운동으로 슬관절 신전근력 및 고관절 외전근력이 향상되었을 것이라 판단되며, 이는 보행 중 중간입각기의 안정성으로 작용해 반대편 다리의 보속(Stride rate)과 보폭(Step length)이 향상되어 보행속도를 향상시킨 결과라 사료되며, 향후 보속과 보폭을 측정할 수 있는 표준화된 평가 장비를 사용하여 보행능력에 대한 추가적인 분석이 필요할 것으로 사료된다.

좌·우 슬관절 신전 근력과 족관절 저측굴곡 근력을 측정한 결과 좌·우측 슬관절 신전 근력은 진동운동군과 대조군 모두에서 통계적으로 유의한 향상이 있었으며, 집단간 비교에서 진동운동군이 대조군보다 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 우측 족관절 저측굴곡 근력은 진동운동군과 대조군 모두에서 통계적으로 유의한 향상이 있었으며, 좌측 족관절 저측굴곡 근력은 진동운동군에서만 통계적으로 유의한 향상을 보였다. 집단간 비교에서 진동운동군이 좌·우측 모두 더 큰 증가가 나타났다($p < .05$).

신승섭[40]은 폐경기여성을 대상으로 12주간 증재

한 결과 좌측과 우측 슬관절 신전근력에서 대조군을 제외한 부하자극 진동운동군, 부하자극이 없는 진동운동군에서 유의한 근력증가를 보였다. Roelants 등[44]의 연구에서는 폐경기여성을 대상으로 수직 진동운동운동군과 하지 저항운동군으로 24주간 증재한 후 진동운동군에서 하지 근력의 증가를 보고 하였으며, 대상자는 다르나 Tihanyi 등[45]의 연구에서는 아급성 뇌졸중 환자를 대상으로 20 Hz에서 전신진동상태에서 서기 운동을 실시한 결과 진동운동군에서 등척성 무릎 신전 토크가 36.6% 증가하였다고 하였으며, Delecluse 등[46]의 연구에서는 12주간 수직 진동운동그룹, 저항운동그룹, 진동운동 위약그룹, 통제집단으로 나누어 35-40 Hz의 진동 주파수에서 증재한 결과 증재 후 수직 진동운동그룹에서 정적 슬관절 신전근력과 동적 슬관절 신전근력이 저항운동과 비교할 만한 수준으로 증가하였다고 보고 하였다.

본 연구를 통하여 거동이 불편하고 신체활동이 성인에 비하여 비교적 어려운 노인 집단은 수직 진동운동을 통해 정상보행을 위한 하지의 근력을 향상시킬 수 있다는 것을 증명하였으며, 진동자극을 통한 근력의 증가는 전신진동 자극이 근방추를 자극하고 근육의 반사적인 수축을 유도하여 무자극 상태보다 진동자극을 제공하였을 때 전체적인 하지 근 활성화 증가에 영향을 미쳤을 것이라 사료된다.

마지막으로 낙상효능감(K-FES)을 평가한 결과 진동운동군에서만 유의한 차이가 있었고, 진동운동군이 대조군보다 변화량의 차이가 크고 통계적으로 유의한 차이가 나타났다.

본 연구와 유사하게 Pollock 등[15]의 연구에서는 낙상을 경험한 80세 노인을 대상으로 8주간 증재한 결과 수직 진동운동그룹에서 진동이 없는 운동그룹에 비하여 낙상효능감이 유의한 향상을 보였으며, Bruyere 등[17]의 연구에서는 63세 이상 노인 42명을 대상으로 6주간 수직 진동운동을 실시한 결과 낙상위험이 유의하게 감소하였다고 하였다. 또한 Bogaerts 등[47]의 연구에서는 12개월 동안 94명의 노인을 대상으로 수직 진동운동을 실시한 결과 낙상빈도와 자세 제어 능력이 유의하게 감소되었다고 하였다. 선행 연구의 결과는 본 연구의 결과와 일치하였으며, 이는 본 연구에서도

수직 진동운동으로 인해 노인의 균형능력, 보행속도의 향상 및 하지의 근력의 유의한 향상으로 노인의 신체적 변화를 일으켰고, 이러한 신체적 향상은 대상자의 심리적인 상태에도 영향을 미쳐 낙상효능감의 향상을 나타낸 것이라고 생각된다.

이를 토대로 지금까지 살펴본 연구의 결과들을 종합해 보면, 수직 진동운동은 노인의 균형, 보행속도, 하지 근력의 향상과 낙상효능감에 효과적인 운동방법이라는 것을 확인하였다. 이는 앞으로 고령자의 낙상예방을 위한 중재활동을 연구하는데 유용한 자료가 될 것이라고 생각되며, 수직 진동운동에 대한 다양한 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다.

본 연구는 65세 이상의 건강한 노인 28명 만을 대상으로 하였으므로 모든 노인의 낙상중재활동으로 연구 결과를 일반화시키기에는 어려움이 있으며, 또한 6주간의 비교적 짧은 중재 기간으로 연구결과를 일반화하기에는 제한점이 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 수직 진동운동이 노인의 균형, 보행속도, 근력 및 낙상효능감에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 65세 이상의 노인 28명을 대상으로 6주 동안 진동운동군 14명에게 수직 진동운동을 적용하였고, 대조군 14명에게는 진동을 제외한 상태에서 진동운동군과 동일한 운동을 적용하여 비교 연구한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

정적균형 능력에서 눈을 뜨고 수행하는 정적수행능력에는 차이가 없었으나, 눈을 감고 수행하는 정적균형능력의 향상과, 진동운동군에서의 더 큰 향상으로 고유수용감각의 증진을 통한 정적균형능력이 향상됨을 확인하였다. 슬관절과 족관절의 근력과 보행 속도에서도 진동운동군에서 더 큰 효과를 확인함으로써 보행능력의 향상에 효과가 있음을 확인하였으며, 또한 낙상효능감에서도 진동운동군에서 더 큰 향상을 보였다. 이상의 결과를 종합해보면 건강한 노인을 대상으로 수직진동운동의 적용은 보행관련 능력향상 및 낙상예방을 위한 중재로 유용하다고 할 수 있다.

Acknowledgements

2020년 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음

References

- [1] Kannus P, Parkkari J, Niemi S, et al. Fall-induced deaths among elderly people. *American journal of public health*. 2005;95(3):422-4.
- [2] Miller CA. The connection between drugs and falls in elders. *Geriatric Nursing*. 2002;2(23):109-10.
- [3] Moylan KC, Binder EF. Falls in older adults: risk assessment, management and prevention. *The American journal of medicine*. 2007;120(6):493. e1-. e6.
- [4] Yoo I. Effects of fall prevention program applying HSEP on physical balance and gait, leg strength, fear of falling and falls efficacy of community-dwelling elderly. *J Korean Gerontological Soc*. 2009;29:259-73.
- [5] Kannus P, Sievänen H, Palvanen M, et al. Prevention of falls and consequent injuries in elderly people. *The Lancet*. 2005;366(9500):1885-93.
- [6] Unsworth J, Mode A. Preventing falls in older people: risk factors and primary prevention through physical activity. *British journal of community nursing*. 2003; 8(5):214-20.
- [7] Kim S. The Effects of Risk Factors for Falls Based on the Framework of ICF on the Lifestyles of the Elderly. Doctor's Degree. Daegu University. 2014.
- [8] Fukagawa NK, Wolfson L, Judge J, et al. Strength is a major factor in balance, gait, and the occurrence of falls. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 1995;50(Special_Issue): 64-7.
- [9] Jette AM, Pinsky JL, Branch LG, et al. The Framingham Disability Study: physical disability among community-dwelling survivors of stroke. *Journal of clinical epidemiology*. 1988;41(8):719-26.
- [10] Jeoung B. A review of exercise program for fall prevention

- in the elderly. The journal of korean society of aerobic exercise. 2008;12:1-9.
- [11] Deshpande N, Metter EJ, Lauretani F, et al. Activity restriction induced by fear of falling and objective and subjective measures of physical function: a prospective cohort study. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2008;56(4):615-20.
- [12] Andersson ÅG, Kamwendo K, Appellos P. Fear of falling in stroke patients: relationship with previous falls and functional characteristics. *International Journal of Rehabilitation Research*. 2008;31(3):261-4.
- [13] Tinetti ME, Richman D, Powell L. Falls efficacy as a measure of fear of falling. *Journal of gerontology*. 1990; 45(6):P239-P43.
- [14] Kawanabe K, Kawashima A, Sashimoto I, et al. Effect of whole-body vibration exercise and muscle strengthening, balance, and walking exercises on walking ability in the elderly. *The Keio journal of medicine*. 2007;56(1): 28-33.
- [15] Pollock RD, Martin FC, Newham DJ. Whole-body vibration in addition to strength and balance exercise for falls-related functional mobility of frail older adults: a single-blind randomized controlled trial. *Clinical rehabilitation*. 2012;26(10):915-23.
- [16] Shim C, Lee Y, Lee D, et al. Effect of whole body vibration exercise in the horizontal direction on balance and fear of falling in elderly people: a pilot study. *Journal of physical therapy science*. 2014;26(7):1083-6.
- [17] Bruyere O, Wuidart MA, Di Palma E, et al. Controlled whole body vibration to decrease fall risk and improve health-related quality of life of nursing home residents. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2005;86(2):303-7.
- [18] Bosco C, Colli R, Intoroini E, et al. Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clinical physiology*. 1999;19(2):183.
- [19] Cheung W-H, Mok H-W, Qin L, et al. High-frequency whole-body vibration improves balancing ability in elderly women. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2007;88(7):852-7.
- [20] Turbanski S, Haas CT, Schmidbleicher D, et al. Effects of random whole-body vibration on postural control in Parkinson's disease. *Research in sports medicine*. 2005; 13(3):243-56.
- [21] van Nes JJ, Latour H, Schils F, et al. Long-term effects of 6-week whole-body vibration on balance recovery and activities of daily living in the postacute phase of stroke: a randomized, controlled trial. *Stroke*. 2006;37(9): 2331-5.
- [22] In T-s, Song C-h. The effects of whole body vibration on knee extensor strength, and balance and walking ability with chronic stroke. *Journal of Korean Society of Physical Medicine*. 2010;5(4):675-83.
- [23] Ahn M-C, Song C-H. Immediate effects of local vibration on ankle plantarflexion spasticity and clonus of both the gastrocnemius and soleus in patients with spinal cord injury. *Korean Society of Physical Medicine*. 2016; 11(2):1-11.
- [24] Jung Y, Chung E-J, Chun H-L, et al. Effects of whole-body vibration combined with action observation on gross motor function, balance, and gait in children with spastic cerebral palsy: a preliminary study. *Journal of Exercise Rehabilitation*. 2020;16(3):249.
- [25] Sitja-Rabert M, Rigau D, Fort Vanmeerghaeghe A, et al. Efficacy of whole body vibration exercise in older people: a systematic review. *Disability and rehabilitation*. 2012;34(11):883-93.
- [26] Tsuji T, Yoon J, Aiba T, et al. Effects of whole-body vibration exercise on muscular strength and power, functional mobility and self-reported knee function in middle-aged and older Japanese women with knee pain. *The Knee*. 2014;21(6):1088-95.
- [27] Ritzmann R, Gollhofer A, Kramer A. The influence of vibration type, frequency, body position and additional load on the neuromuscular activity during whole body vibration. *European journal of applied physiology*.

- 2013;113(1):1-11.
- [28] Mormile M. Reliability and Validity of the GWalk for Use in Postural Control. 2017.
- [29] Borg FG, Laxåback G. Entropy of balance-some recent results. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*. 2010;7(1):38.
- [30] Dean CM, Richards CL, Malouin F. Walking speed over 10 metres overestimates locomotor capacity after stroke. *Clinical rehabilitation*. 2001;15(4):415-21.
- [31] Bohannon RW. Comfortable and maximum walking speed of adults aged 20-79 years: reference values and determinants. *Age and ageing*. 1997;26(1):15-9.
- [32] Reese NB. *Muscle and Sensory Testing-E-Book*. Elsevier Health Sciences. 2013.
- [33] Choi J-H, Moon J-S, Sohng K-Y. The effects of Tai Chi exercise on physiologic, psychological functions, and falls among fall-prone elderly. *Journal of muscle and joint health*. 2003;10(1):62-76.
- [34] Cardinale M, Wakeling J. Whole body vibration exercise: are vibrations good for you? *British journal of sports medicine*. 2005;39(9):585-9.
- [35] Cochrane DJ, Legg SJ, Hooker MJ. The short-term effect of whole-body vibration training on vertical jump, sprint, and agility performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2004;18(4):828-32.
- [36] Rittweger J, Just K, Kautzsch K, et al. Treatment of chronic lower back pain with lumbar extension and whole-body vibration exercise: a randomized controlled trial. *Spine*. 2002;27(17):1829-34.
- [37] Rubin C, Turner AS, Bain S, et al. Low mechanical signals strengthen long bones. *Nature*. 2001;412(6847):603-4.
- [38] Rittweger J. Vibration as an exercise modality: how it may work, and what its potential might be. *European journal of applied physiology*. 2010;108(5):877-904.
- [39] Cardinale M, Pope MH. The effects of whole body vibration on humans: dangerous or advantageous? *Acta Physiologica Hungarica*. 2003;90(3):195-206.
- [40] Shin S. The Effect of whole body vibration with weighted vest on body composition, knee extensor strength, static standing balance and bone mineral density for postmenopausal women. Unpublished doctoral dissertation, Sahmyook University. 2012.
- [41] Rees SS, Murphy AJ, Watsford ML. Effects of whole body vibration on postural steadiness in an older population. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2009;12(4):440-4.
- [42] van Nes IJ, Geurts AC, Hendricks HT, et al. Short-term effects of whole-body vibration on postural control in unilateral chronic stroke patients: preliminary evidence. *American journal of physical medicine & rehabilitation*. 2004;83(11):867-73.
- [43] Avelar NCP, Simao AP, Tossige-Gomes R, et al. The effect of adding whole-body vibration to squat training on the functional performance and self-report of disease status in elderly patients with knee osteoarthritis: a randomized, controlled clinical study. *The Journal of alternative and complementary medicine*. 2011;17(12):1149-55.
- [44] Roelants M, Delecluse C, Verschueren SM. Whole-body-vibration training increases knee-extension strength and speed of movement in older women. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2004;52(6):901-8.
- [45] Tihanyi TK, Horváth M, Fazekas G, et al. One session of whole body vibration increases voluntary muscle strength transiently in patients with stroke. *Clinical rehabilitation*. 2007;21(9):782-93.
- [46] Delecluse C, Roelants M, Diels R, et al. Effects of whole body vibration training on muscle strength and sprint performance in sprint-trained athletes. *International journal of sports medicine*. 2005;26(8):662-8.
- [47] Bogaerts A, Verschueren S, Delecluse C, et al. Effects of whole body vibration training on postural control in older individuals: a 1 year randomized controlled trial. *Gait & posture*. 2007;26(2):309-16.