

전신 진동자극 훈련이 경직형 뇌성마비 아동의 하지 근 두께와 대동작 운동기능에 미치는 영향

이원빈 · 이한숙^{1†} · 박선욱² · 유준기

연세로이 재활의원, ¹을지대학교 물리치료학과, ²삼성서울병원

Effects of Whole Body Vibration Training on Lower Limb Muscle Thickness and Gross Motor Function in Children with Spastic Cerebral Palsy

Won-Bin Lee, PT, Han-Suk Lee, PT, PhD^{1†}, Sun-Wook Park, PT, PhD², Jun-Ki Yoo, MD
Yonsei Roi Rehabilitation Center, ¹Eulji University, ²Sam Sung Seoul Hospital

Received: October 9, 2019 / Revised: October 15, 2019 / Accepted: October 24, 2019

© 2019 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: This study aimed to quantify the effects of whole body vibration (WBV) stimulation training on the muscle thickness and gross motor function in children with spastic cerebral palsy.

METHODS: Twenty children diagnosed with spastic cerebral palsy were assigned randomly to the Whole Body Vibration (WBV) group (n=10) and control group (n=10). The WBV group received vibration therapy including five different therapy, and the control group received only five general physiotherapy sessions. After 10 weeks of intervention, the muscle thickness was measured using ultrasound, and the Gross Motor Function D and E items were

evaluated.

RESULTS: After the intervention, both groups showed a significant increase in muscle thickness and gross motor function ($p<.05$). The WBV group showed a significant increase in the quadriceps femoris and tibialis anterior muscles compared to the control group, whereas no significant increase in the gastrocnemius muscle was observed ($p<.05$). The WBV group showed significant improvement in the Gross Motor Function D and E scores compared to the control group ($p<.05$).

CONCLUSION: WBV training may be a useful way of improving the lower extremity muscle strength in children with spastic cerebral palsy, which may help improve the gross motor function.

Key Words: Cerebral palsy, Gross motor function, Muscle thickness, Whole body vibration

†Corresponding Author : Han Suk Lee
leehansuk21@hanmail.net, <https://orcid.org/0000-0002-9336-0894>

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.

I. 서 론

경직형 뇌성마비 아동들은 비 정상적인 신경학적 조절로 인해 선택적인 근육조절의 어려움이 있고, 다수의 아동들은 성장과정에서 다양한 근 골격계 손상, 균형 및 대동작 운동기능에 제한을 보인다[1,2]. 특히, 뇌성마비의 운동기능 제한의 원인으로 근육의 과 긴장보다 근육의 약화가 더 큰 요인이라고 하고 있다[3]. 따라서, 뇌성마비 아동의 조기 근력강화 프로그램은 매우 중요하다.

최근 뇌성마비 환자의 근골격계 활성화를 위하여 전신 진동자극 훈련 방법의 사용이 증가되고 있다[4]. 전신 진동자극이란 전신에 수직으로 사인(sine) 곡선 형태의 진동을 전달할 수 있는 진동보드 위에 발로 선 자세를 유지하거나 운동 하는 것으로, 일종의 체중부하 운동으로 정의된다[5,6]. 진동자극에 대한 정확한 기전은 아직 논란의 여지가 있지만, 대부분의 연구자들은 진동이 근육의 수축을 유발하는 근 방추와 알파 운동신경을 자극한다고 가정한다. 또한, 생성된 기계적 자극은 하지의 운동 단위의 활성을 급격히 증가시킬 수 있고, 무릎 펌 근에서 중등도의 저항운동 훈련과 동등한 효과를 유도 할 수 있다[5,7,8]. 전신 진동자극 훈련은 근력증진에 효과적이며[9,10-12], 근력 증가뿐 아니라 대동작 운동기능(Gross Motor Function Measurement: GMFM)이 향상에도 유용하다고 하였다[10].

하지만, Nordlund [13]의 메타분석 연구에서는 전신 진동자극 훈련이 저항운동에 비교하여 근력 강화에 크게 효과적이지 못하며 대체운동으로 이용하기에는 증거가 부족하다고 하였다. 또한, Pozo-Cruz[14]는 신경계 환자에게 전신 진동자극 훈련이 근력과 균형능력 향상에 큰 영향을 미치지 못하였다고 보고하였다. Ruck과 Ibrahim [12,15]의 연구에서는 전신 진동자극 훈련이 뇌성마비 환자의 대동작 운동기능을 증가 시켰지만 일반적인 물리치료를 적용한 군과 유의한 차이가 없었다고 보고하였다.

이전 연구들에 따르면 전신 진동자극 훈련의 효과는 연구자들마다 다소 차이를 보이고 있다. 이는 경직형 뇌성마비 아동의 경우 근력을 정확히 평가하기가 어렵

고, 연구자들마다 다른 훈련방법을 사용한 것과 훈련방법에 대한 정량화가 이루어지지 않았기 때문이다. 경직형 뇌성마비 아동의 근력 평가를 하기 위해 근력검사 이외 근육의 부피를 측정하여 근력을 확인할 수 있다. 초음파를 이용한 근 두께의 측정은 근육 부피를 추정하는데 유용한 도구이다[16]. 만약, 초음파 측정을 이용하여 근 두께를 검사 한다면, 경직형 뇌성마비 아동의 근력을 좀 더 과학적으로 확인할 수 있을 것이다.

따라서, 본 연구에서는 경직형 뇌성마비아동의 근력에 대하여 초음파를 이용한 근 두께를 살펴보고 GMFM을 이용하여 기능을 평가함으로 전신 진동자극 훈련의 효과에 대하여 좀 더 정량적인 증명을 하고자 한다. 또한, 훈련방법의 정량화를 위하여 좀더 명확하게 운동 방법을 규범화하여 추후 임상에서 사용할 수 있는 프로토콜을 제안하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상자

연구의 참가자는 서울시에 소재한 2개의 기관에 내원한 대상으로 진행되었다. 뇌성마비 진단을 받은 아동 중, 대동작 기능 분류 시스템(Gross Motor Function Classification System)[17] Level I-II에 해당하는 5세 이상 10세 미만의 독립적으로 서거나 잡고 설 수 있는 아동으로 검사자가 요구하는 구두 지시에 대하여 충분이 이해할 수 있을 정도의 인지수준과 의사소통 능력을 가진 경직형 뇌성마비 아동 20명을 대상으로 하였다. 선행연구[15]를 근거로 G-power 1.1.9.2(α -error: .05, power: .80, effect size: .70)를 사용하여 대상자를 산출한 결과, Actual power: .82로 필요한 대상 수는 20명이 산출 되었다. 총 대상자를 일반적인 치료군과($n=10$) WBV군으로($n=10$) 무작위 배정하였다. 제외 대상으로는 최근 2년간 수술경력, 6개월 이내에 보톡스(Botox) 시술을 받은 경력, 간질, 발작, 실험 중 투여하는 약물의 변화가 있는 대상은 제외하였다. 본 연구와 관련된 절차를 시행하기 전에 아동의 법정대리인으로부터 동의를 받았고, 헬싱키 선언에 근거한 윤리적 원칙을 바탕으로 합법적인 절차를 따라 수행하였으며, 을지대학교 윤리위원회의 승인(EUI9-21)을 받았다.

2. 치료방법

WBV군(n=10)은 WBV 훈련과 일반적인 물리치료를 포함하여 회당 1시간, 주 5회, 10주간 치료를 받았고, 대조군(n=10)은 회당 1시간, 주 5회, 10주간 일반적인 물리치료만을 받았다. 일반적인 물리치료는 신경발달 치료(NDT), 근육 스트레칭, 근력강화운동, 고유감각 및 균형훈련이 포함되었다[4]. WBV훈련을 위해 본 연구에서는 갈릴레오 시스템 Galileo® Med S(Manufacturer: Novotec Medical GmbH in Germany, 616×405×120 mm)를 이용하였다. 플랫폼은 좌 우로 흔들리는 수직 사인 곡선의 진동(side-to-side alternating vertical sinusoidal vibration)으로 사용자는 주파수를 5 Hz부터 27 Hz까지 .5단위로 설정할 수 있다. WBV 훈련은 3분 훈련 후 3분 휴식하는 방법을 적용하였으며 Lee [18]의 중재방법을 수정한 5가지 주파수를 순서대로 적용하였다(① 12-16 Hz, ② 16-20 Hz, ③ 20-24 Hz, ④ 16-20 Hz, ⑤ 12 Hz). 훈련은 임상경력 3년 이상의 숙련된 물리치료사 감독 하에 실시되었다. 대상자는 발바닥에 온전한 체중에 대한 감각정보 제공을 위하여 신발이나 보조 도구 없이 플랫폼 위에 올라서서 두 번째 발가락을 기준으로 대칭으로 발을 놓고, 양 손을 자유롭게 하고 벽에 등을 기대고 선 후 무릎을 구부린 자세 유지 하였다. 또한 훈련 중 동작에 대한 시각적 피드백 강화를 위해 앞에 거울을 제공하였으며, 치료사는 가능한 양쪽 다리에 체중을 똑같이 분배 할 수 있도록 구두지지 제공하였다. 진행되는 동안 엉덩관절 혹은 무릎관절 위치변화 등의 변수를 통제하기 위하여 치료사는 필요한 경우 직접적인 자세교정 및 피드백 제공하였다. 모든 세션마다 참가자의 치료결과와 관찰된 부작용 및 특이사항은 기록되었으며, 일주일 단위로 보고 받았다.

3. 측정 방법

모든 대상자는 중재 전 후 사전 및 사후검사를 실시 하였다. 측정 방법으로는 대동작 운동기능 평가(Gross Motor Function Measure, GMFM)[19]와 근 두께 측정(E-Cube15EX)을 실시하였다.

대동작 운동기능평가는(ICC=.97)[20] 평가에 대해 완벽히 숙지하고 있는 임상 5년차 이상의 물리치료사

4명에 의해 측정 프로토콜에 따라 눕기와 구르기, 앉기, 기기와 무릎서기, 서기, 걷기, 뛰기, 도약을 포함한 총 88개 항목을 평가 하였다. 본 연구의 중재는 선 자세에서 이루어지기 때문에 서기에 해당하는 D항목과 걷기 뛰기 그리고 강충 뛰기에 해당하는 E항목을 측정하였다. 근 두께 측정은 영상초음파장치(E-Cube15EX)를 통하여 넙다리곧은근(Rectus femoris), 앞정강근(Tibialis anterior), 장딴지근(Gastrocnemius) 등 총 3개의 근육을 측정하였다. 한 명의 숙련된 재활의학과 전문의에 의해 측정되었으며 스캐닝 주파수는 10 MHz였다. 넙다리곧은근 측정 시 편하게 바로 누운 자세에서 무릎뼈의 중심과 위앞엉덩뼈가시의 50% 지점에 마킹테이프를 부착하고 검사 하였다. 이 때 무릎아래 수건을 넣어 10도의 무릎 굽힘 상태에서 효과적으로 근육이 이완 할 수 있도록 하였다. 앞정강근 측정 시 편하게 바로 누운 자세에서 가쪽무릎관절의 중심과 가쪽복사뼈 중심의 35%지점에 마킹테이프를 부착 하고 검사하였다. 장딴지근 측정 시 편하게 엎드려 누운 자세에서 발을 검사대 밖으로 떨어뜨리고 정강뼈의 길이에서 몸쪽 25% 지점에 마킹테이프를 부착하고 검사 실시하였다[21,22]. 충분한 접촉젤을 사용하고 과도한 압박을 방지하여 피부 및 피하조직에 변형을 최소화 하였다. 각 근육은 3번의 연속된 측정 후 평균값을 산출하였다. 하지 근 두께를 측정하기 위한 초음파 영상의 신뢰도 및 타당성은 높게 보고되었다[23,24]. 모든 대상자는 1명의 재활의학과 전문의, 4명의 물리치료사에 의해 평가를 받았으며, 평가와 결과를 측정하는 검사자 5명은 맹검되었다.

4. 통계 방법

본 연구의 데이터는 SPSS Statics for window version 25.0을 이용하여 통계처리하였다. 연구대상의 일반적 특성은 기술통계를 사용하여 평균값과 표준편차를 산출하였다. 중재 전 후 두 군의 근 두께와 대동작 운동기능의 변화를 비교하기 위해 Wilcoxon signed-rank test를 실시하였고, 두 군간의 근 두께와 대동작 운동기능의 차이를 분석하기 위해 Mann-Whitney U test를 실시하였다. 통계적 유의 수준 α 는 .05로 정하였다.

Table 1. Characteristics of Participants.

(Mean±SD)

Variables	WBV Group (n=10)	Control Group (n=10)	t/ χ^2	p value
GMFCS (I/II)	4/6	4/6		
Sex (man/woman)	5/5	5/5		
Age (years)	7.3±1.89	7.4±1.9	-.118	.907
Height (cm)	118.02±13.32	117.06±11.63	.565	.866
Weight (kg)	25.37±6.44	24.89±6.38	.168	.869

SD: standard deviation, WBV: whole-body vibration, p<.05

Table 2. Parameters Before and After Treatment.

(Mean±SD)

	WBV Group (n=10)			Control Group (n=10)		
	Before	After	p value	Before	After	p value
RF (mm)	.95±.16	1.11±.17	.005	.97±.17	1.00±.18	.005
TA (mm)	.62±.06	.75±.06	.005	.60±.08	.62±.08	.005
GCM (mm)	.57±.08	.62±.08	.007	.57±.08	.62±.09	.005
GMFM (D)	70.25±15.72	80±11.37	.005	68.7±14.94	72.57±15.86	.007
GMFM (E)	44.44±26.31	50.41±25.20	.005	51.65±23.11	54.85±22.46	.004

WBV; whole-body vibration, RF; Rectus femoris, TA; Tibialis anterior, GCM; Gastrocnemius

III. 연구결과

일반적 특성은 두 군간 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다(Table 1). 중재 후 두 군 모두 근 두께와 대동작 운동기능의 유의한 증가를 보였다(p<.05)(Table 2). 두 군간 변화량 비교에서 WBV군이 대조군에 비해 넙다리 곧은근과 앞정강근에서 유의한 증가를 보인 반면, 장딴지근에서는 유의한 증가를 보이지 않았다(p<.05). 그리고 WBV군이 대조군에 비해 대동작 운동기능 평가(Gross motor function measure, GMFM D와 E 항목 점수)에서 유의한 향상을 보였다(p<.05)(Table 3).

IV. 고 찰

본 연구는 10주 동안 경직형 뇌성마비 아동에게 전신 진동자극 훈련이 하지 근 두께와 대동작 운동기능에 미치는 효과에 대해 알아보고자 실시하였다. 연구 결과, 근 두께 측정에서 WBV군이 대조군에 비해 넙다리

곧은근과 앞정강근의 두께에 유의한 증가를 보였고, 장딴지근 두께의 변화량에서 두 군 간 유의한 차이를 보이지 않았다. 대동작 운동기능 평가 D, E 항목의 점수에서 유의한 향상을 보였다.

본 연구에서 근 두께가 증가한 것은, 중재 적용시간, 주파수 및 자세가 영향을 미쳤던 것으로 사료된다. 본 연구에서는 가장 효율적인 훈련 프로토콜을 제시하고자 훈련과 휴식시간은 이전 연구에서 뇌성마비 아동의 하지 근력강화에 효과가 있었던 것으로 알려진 3분 훈련 3분 휴식방법을 취하였다[11-12,18]. 또한 주파수가 증가할 수록 근 활성도가 증가하기 때문에 Warm-up에 적합한 12 Hz에서 점진적으로 주파수를 증가시키는 방법을 선택하였으며, 근 지구력과 근력의 증진을 목표로 하는 24 Hz까지 적용 되었다. 그리고 세션 마지막엔 Cool-down을 목적으로 12 Hz를 적용하였다[25].

본 연구에서는 아동의 양 팔을 자유롭게 한 상태에서 벽에 등을 대고 무릎을 굽히고 훈련을 실시하였다. 이를 통해 양 발에 온전한 체중부하 할 수 있도록 하였으

Table 3. Changes in Muscle Thickness and GMFM (D, E) After Intervention (Mean±SD)

Variables	WBV Group (n=10)	Control Group (n=10)	z	p
RF (mm)	.16±.05	.03±.02	-3.782	.000
TA (mm)	.13±.05	.02±.01	-3.794	.000
GCM (mm)	.05±.04	.05±.02	-.420	.684
GMFM (D) (%)	9.75±5.52	3.87±2.49	-2.458	.015
GMFM (E) (%)	5.97±2.63	3.2±2.62	-2.296	.023

WBV; whole-body vibration, RF; Rectus femoris, TA; Tibialis anterior, GCM; Gastrocnemius



Fig. 1. Image of ultrasound (E-Cube15Ex) for test of muscle thickness (Lt) and Galileo® Med S (Rt).

며, 아동 스스로 불안정한 지면으로부터 지속적으로 자세를 수정할 수 있도록 하였다. 선행연구의 공통적인 훈련 자세는 약간 무릎을 굽히고 앞에 놓인 바를 손으로 잡고 실시하거나, 틸트 테이블 같은 다른 장치와 결합을 하여 완전한 지지와 함께 진행되는 것이 일반적이었다[10,15,18]. 그러나 무릎을 구부린 상태에서 앞에 놓인 바를 잡고 훈련 실시할 경우 하지의 운동기능에 손상이 있는 경직형 뇌성마비 아동의 특성상 훈련이 진행되는 동안 상지에 많은 의존을 하는 문제점이 있다고 사료된다. 이는 앞으로 과도한 몸통 기울임, 하지에 부하되는 체중의 감소로 인한 발 미끄러짐 등의 문제점에 노출될 가능성이 높다고 할 수 있다. 전신 진동자극 훈련 중 부하되는 신체의 하중과 근육의 활성은 비례하기 때문에[5] 근력강화 훈련은 최대한 체중을 부하한 상태에서 시행하는 것이 중요하다고 생각한다. 연구 결과 이전에 진행된 연구들과 동일하게 본 연구에서도 무릎을 굽힌 자세를 취하고 있었기 때문에 신체 역학적인 관점에서 장딴지근에 비해 상대적으로 넙다리곧은근과 앞정강근에 더 많은 근활성이 촉진되었을 가능성이 높다. 이

결과는 상대적으로 무릎의 굽힘 각도가 증가될수록 무릎의 펴 근육의 활성이 증가되고 무릎의 펴 각도가 증가될수록 발바닥 굽힘 근육의 활성이 증가되었다는 Ritzmann [25]의 연구 결과와 일치한다. 또한 무릎을 굽힌 상태에서의 훈련이 장딴지근에 비해 앞정강근에 더 많은 두께의 증가를 보였다는 Lee [18]의 연구 결과와도 일치한다. WBV 훈련에 대한 근력증가의 효과를 살펴본 연구들에서는 무릎 펴근의 힘의 향상이 있었으며[11,12], 본 연구에서도 선행연구와 비슷하게 넙다리곧은근의 근 두께의 향상을 확인할 수 있었다. 선행연구와 다르게 본 연구에서는 근력을 확인한 것이 아니라 근 두께의 향상을 확인하였다. 하지만, 근 두께와 근력증가의 상관이 있다는 연구의 결과[26]를 바탕으로 본 연구에서의 근 두께의 증가는 근력향상을 이끌어 낼 수 있을 것이다.

대동작 운동기능 평가 결과 WBV군에서 서기에 해당하는 D항목과 걷기 뛰기 그리고 깡충 뛰기에 해당하는 E항목에서 모두 대조군에 비해 유의하게 증가하였다. 이러한 결과는 진동 자극을 통해 하지의 근 두께가

증가한 것이 근력 향상에 영향을 미쳤고 그 결과 대동작 운동기능의 향상에 도움을 주었을 것이라 생각된다. 그리고 발생된 기계적 자극이 하지의 고유수용기를 자극하였기 때문에 선 자세에서 이루어지는 D, E 항목의 대동작 운동기능이 일반적인 물리치료를 받은 군에 비해 더 많은 증가를 보인 것으로 생각된다. 전신 진동자극이 하지의 고유수용성 반응을 촉진하여 하지의 감각 처리에 향상을 야기한다는 정확한 기전은 아직 밝혀지지 않았지만 근육자체에 제공되는 기계적 자극은 근방추를 활성화 시킬 수 있고 신장반사(stretch reflex)를 활성화 시킬 수 있다. 이런 운동 단위의 반사적 활성화는 진동의 적용이 운동단위의 동원을 증가시키는 것과 관련이 있을 수 있으며, 이는 운동신경의 흥분성을 증가시킬 수 있음을 시사한다[5]. 실제로 El-shamy [11]의 연구에서 경직형 뇌성마비 아동의 자세조절 능력이 WBV군에서 유의하게 개선되었다고 보고하였다. 따라서 전신 진동자극 훈련이 경직형 뇌성마비 아동의 하지의 고유감각 인식을 증진시키고, 운동기능을 증가시켰을 것으로 사료된다.

본 연구의 중재방법은 아동이 도움 없이 스스로 등을 붙이고 온전한 체중부하를 한 상태에서 시행되는 것으로, 중력에 대하여 진동자극에 대해서 자세를 유지할 수 있을 정도의 지구력을 요한다. 따라서, 연구 대상자는 경직형 뇌성마비 아동 중 GMFCS level I-II의 독립 서기가 가능한 아동으로 국한되었으므로 연구결과를 일반화하는데 제한점이 있다. 향후 진행될 연구에서는 다양한 기능수준의 아동들에게 적합한 잘 정제된 큰 규모의 연구가 필요할 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구를 통해 10주간의 정량화된 전신 진동자극 훈련은 경직형 뇌성마비 아동의 하지 근 두께를 증가시킬 수 있음을 객관적으로 확인하였다. 따라서 정량화된 전신 진동자극 훈련은 경직형 뇌성마비 아동의 근력향상 및 대동작 운동기능 촉진을 위해 임상에서 충분히 활용될 수 있을 것이라 생각된다.

References

- [1] Krigger K. Cerebral Palsy: An Overview. 2006.
- [2] Odding E, Roebroek ME, Stam HJ. The epidemiology of cerebral palsy: incidence, impairments and risk factors. *Disabil Rehabil.* 2006;28(4):183-91.
- [3] Ross SA, Engsborg JR. Relationships between spasticity, strength, gait, and the GMFM-66 in persons with spastic diplegia cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehab.* 2007; 88(9):1114-20.
- [4] Stark C, Nikopoulou-Smyrni P, Stabrey A, et al. Effect of a new physiotherapy concept on bone mineral density, muscle force and gross motor function in children with bilateral cerebral palsy. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2010;10(2):151-8.
- [5] Cardinale M, Bosco C. The use of vibration as an exercise intervention. *Exerc Sport Sci Rev.* 2003;31(1):3-7.
- [6] Matute-Llorente Á, González-Agüero A, Gómez-Cabello A, et al. Effect of whole-body vibration therapy on health-related physical fitness in children and adolescents with disabilities: a systematic review. *J Adolescent Health.* 2014;54(4):385-96.
- [7] Cardinale M, Lim J. Electromyography activity of vastus lateralis muscle during whole-body vibrations of different frequencies. *J Strength Cond Res.* 2003;17(3):621-4.
- [8] Delecluse C, Roelants M, Verschueren S. Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Med Sci Sport Exer.* 2003;35(6):1033-41.
- [9] Osawa Y, Oguma Y, Ishii N. The effects of whole-body vibration on muscle strength and power: a meta-analysis. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2013;13(3):380-90.
- [10] Ahlborg L, Andersson C, Julin P. Whole-body vibration training compared with resistance training: effect on spasticity, muscle strength and motor performance in adults with cerebral palsy. *J Rehabil Med.* 2006;38(5):302-8.
- [11] El-Shamy SM. Effect of whole-body vibration on muscle strength and balance in diplegic cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Am J Phys Med Rehabil.*

- 2014;93(2):114-21.
- [12] Ibrahim MM, Eid MA, Moawd SA. Effect of whole-body vibration on muscle strength, spasticity, and motor performance in spastic diplegic cerebral palsy children. *Egypt J Med Hum Genet.* 2014;15(2):173-9.
- [13] Nordlund M, Thorstensson A. Strength training effects of whole-body vibration? *Scand J Med Sci Spor.* 2007; 17(1):12-7.
- [14] Pozo-Cruz Bd, Adsuar JC, Parraca JA, et al. Using whole-body vibration training in patients affected with common neurological diseases: a systematic literature review. *J Altern Complem Med.* 2012;18(1):29-41.
- [15] Ruck J, Chabot G, Rauch F. Vibration treatment in cerebral palsy: A randomized controlled pilot study. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2010;10(1):77-83.
- [16] Miyatani M, Kanehisa H, Kuno S, et al. Validity of ultrasonograph muscle thickness measurements for estimating muscle volume of knee extensors in humans. *Eur J Appl Physiol.* 2002;86(3):203-8.
- [17] Palisano R, Rosenbaum P, Walter S, et al. Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 1997;39(4):214-23.
- [18] Lee BK, Chon SC. Effect of whole body vibration training on mobility in children with cerebral palsy: a randomized controlled experimenter-blinded study. *Clin Rehabil.* 2013;27(7):599-607.
- [19] Russell DJ, Rosenbaum PL, Cadman DT, et al. The Gross Motor Function Measure: A Means to Evaluate the Effects of Physical Therapy. *Dev Med Child Neurol.* 2008; 31(3):341-52.
- [20] Ko J, Kim M. Reliability and responsiveness of the gross motor function measure-88 in children with cerebral palsy. *Phys Ther.* 2013;93(3):393-400.
- [21] Bandholm T, Magnusson P, Jensen BR, et al. Dorsiflexor muscle-group thickness in children with cerebral palsy: relation to cross-sectional area. *NeuroRehabilitation.* 2009; 24(4):299-306.
- [22] Choe YR, Kim JS, Kim KH, et al. Relationship Between Functional Level and Muscle Thickness in Young Children With Cerebral Palsy. *Ann Rehabil Med.* 2018;42(2): 286-95.
- [23] Hodges P, Pengel L, Herbert R, et al. Measurement of muscle contraction with ultrasound imaging. *Muscle & Nerve: J Am Assoc Electrodiagn Med.* 2003;27(6):682-92.
- [24] Benard MR, Becher JG, Harlaar J, et al. Anatomical information is needed in ultrasound imaging of muscle to avoid potentially substantial errors in measurement of muscle geometry. *Muscle Nerve.* 2009;39(5):652-65.
- [25] 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. *Eur J Appl Physiol.* 2013;113(1):1-11.
- [26] Frontera WR, Meredith CN, O'Reilly KP, et al. Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. *J Appl Physiol.* 1988;64(3): 1038-44.