

# Effect of Vibration Exercise Application on the Trunk Muscle Thickness in Children with Spastic Cerebral Palsy

Dal-Ju Mun<sup>1</sup>, Jae-Chul Park<sup>2</sup>, Hyun-Ju Oh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Therapy, Taegu Science University, Daegu, Republic of Korea; <sup>2</sup>Department of Physical Therapy, Chunnam Techno College, Gokseong, Republic of Korea; <sup>3</sup>Department of Physical Therapy, Gumi University, Gumi, Republic of Korea

**Purpose:** This study examined the effect of vibration exercise on the thickness of the oblique extrinsic, oblique abdominal, and biceps muscles, which are trunk muscles, targeting children with spastic cerebral palsy.

**Methods:** The participants in this study were 20 children (8 male and 12 female) with cerebral palsy aged 5–10 years. They were classified into two groups using a randomized allocation method, and the trunk muscle thickness was measured using an ultrasound-imaging device before and six weeks after the experiment. A paired t-test was used for the within-group changes, and an independent t-test was used for the inter-group changes. The significance level was set to  $\alpha = 0.05$ .

**Results:** There was a significant increase in the inter-group change in the experimental group and control group in the intra-group change in the external oblique muscle and internal oblique muscle. After six weeks, there was a significant increase in the experimental group compared to the control group.

**Conclusion:** Vibration exercise had a positive effect on the trunk muscle thickness of children with cerebral palsy. Vibration exercise produced a significant difference in the changes in the trunk muscle thickness in children with cerebral palsy compared to no vibration exercise. These results may provide basic data for future research and as a training method for strengthening the trunk muscles in clinical trials.

**Keywords:** Cerebral palsy, Ultrasound imaging, Vibration

## 서론

뇌성마비(cerebral palsy)는 유아기에 나타나는 운동장애로 신경장애를 동반하는 비진행성 뇌병변으로 정의되고 감각, 인지, 행동, 의사소통, 지각장애 및 이차적 근 뼈대계의 장애를 동반한다.<sup>1</sup>

뇌성마비 분류는 가장 흔한 경직형(spasticity), 무정위 운동형(athe-tosis), 강직형(rigidity), 진전형(tremor), 운동실조형(ataxia), 이완형(ato-nia), 혼합형(mixed)으로 나뉜다.<sup>2</sup> 뇌성마비는 경련, 근력약화, 관절 이상으로 몸통의 자세 안정성의 문제가 발생하여 앉기, 서기, 걷기와 같은 대동작 운동기능의 문제에 직면하게 된다.<sup>3-6</sup> 경직형 뇌성마비 대부분은 근긴장의 변화와 운동이상, 실조를 보인다.<sup>3</sup>

몸통 안정성의 주요 근육은 배바깥빗근과 배속빗근, 배가로근이고 척추분절의 안정성과 관련하여 힘과 토크를 발생시킨다.<sup>7</sup> 또한 몸통의 안정성은 신체의 정렬을 바르게 하여 몸통, 골반 그리고 다리에 있는 근육의 적절한 동작과 함께 대동작 움직임을 가능하게 한다. 그

러나 근육의 위축이나 약화는 허리 부위의 안정성 감소를 가져와 기능장애를 유발할 수 있다.<sup>8</sup>

몸통의 근육활성도와 두께는 높은 상관관계가 있고 몸통근육의 두께는 신체안정성에 많은 영향을 준다.<sup>9</sup> 몸통의 안정성의 선행은 신체의 정렬을 바르게 하고 움직임의 근간이 되어 몸통, 골반 그리고 다리에 있는 근육의 적절한 동작과 함께 대동작 움직임을 가능하게 한다.<sup>9</sup> 임상에서 치료사는 코어근육을 활성화하는 운동치료를 통하여 신체안정성을 증가시키고 몸통근육의 두께를 증가시킨다.

몸통의 안정성의 증가를 위해 몸통의 근육활성화를 높이고 근육 두께 증가하는 운동치료는 몸통의 안정성에 영향을 준다.<sup>10</sup>

뇌성마비 아동들의 몸통 안정성을 유지하고 개선하기 위한 다양한 방법으로 필라테스를 이용한 중재가 있고 가상현실 훈련 프로그램, 슬링을 이용한 몸통 안정화 운동, 로봇을 사용한 몸통 지지운동, 코어 안정화 훈련, 마지막으로 진동을 활용한 운동방법이 있다.<sup>11-16</sup>

진동운동은 많은 운동단위를 동시에 활성화하여 근육을 강화시

Received Mar 17, 2022 Revised Apr 15, 2022

Accepted Apr 29, 2022

Corresponding author Dal-Ju Mun

E-mail coollove1001@daum.net

Copyright ©2022 The Korean Society of Physical Therapy

This is an Open Access article distribute under the terms of the Creative Commons Attribution Non-commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

키고 신경근 반응을 증진하며 성장호르몬을 촉진시킨다.<sup>16-19</sup> 그리고 근육 신장반사와 근육활성화가 신경학적 적응기전의 원리가 되며 만성 허리 통증 환자에서 몸통 근육의 근활성도에 영향을 미쳐 기능적 활동에 영향을 준다.<sup>15,18</sup> 또한, 류마티스 관절염 환자에서 신경근을 촉진하고 전신 흥반 루푸스 환자에서 피로 조절과 신체기능의 증가에 사용되고 뇌성마비 아동에서 무릎 펌근의 근력과 균형 개선에 사용되고 있다.<sup>15,20,21</sup>

그러나 많은 선행연구들은 뇌성마비 아동의 다리근력과 이동성, 균형과 관계된 연구와 안정성 증가에 관한 연구들이 다수였다. 또한 진동운동 적용이 뇌성마비 아동의 근육형태학적 변화인 신체안정성과 관련된 몸통근육의 두께에 관한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 뇌성마비 아동에게 진동운동을 적용한 후 몸통 근육의 근육두께에 미치는 영향을 확인하여 국내 뇌성마비 아동을 대상으로 진동운동프로그램이 임상에서 활용가능성을 제시하고자 한다.

## 연구 방법

### 1. 연구대상

연구 대상자는 G 지역에 소재한 발달센터 기관에 내원하는 5세부터 10세에 해당하는 경직형 뇌성마비 아동을 20명을 대상으로 하였다. 뇌성마비 진단을 받고 대 동작 기능분류 시스템(gross motor function classification system) level I에 해당하는 아동으로 보조도구 없이 서 있거나 독립 보행이 가능한 아동으로 구두 지시에 이해하고 따를 수 있는 정도의 의사소통과 인지 수준을 가진 뇌성마비 아동 남성 8명, 여성 12명 총 20명을 대상으로 하였다. 표본크기 선정은 선행연구를 근거로<sup>22</sup> G\*power3.1 (Heinrich Heine University Dusseldorf, Germany)<sup>23</sup>를 이용하여 유의수준( $\alpha=0.05$ ), 효과크기는( $d=1.690$ ), 검정력( $1-\beta=0.90$ )으로 설정하여 총 18명이 선정되었고, 탈락률을 고려하여 총 20명을 모집하였다. 대상자 분류는 무작위 배정방식인 제비뽑기 방법으로 실험군 10명, 대조군 10명을 배정하였다. 대상자 선정 기준은 1) 6개월 이내에 경기(seizure)를 하지 않은 아동, 2) 시각 및 시야 문제가 없는 아동으로 하였고, 제외기준은 1) 경기 약을 복용하여도 경기가 멈추지 않은 아동, 2) 관절 구축이 있는 아동, 3) 인지 기능과 의사소통이 떨어지는 아동으로 하였다. 모든 대상자들은 대상자와 보호자가 자발적으로 참여 의사를 한 자료 하여 연구의 목적과 방법을 자세히 설명을 하고 헬싱키 선언에 입각한 윤리적 원칙에 따라 동의서를 작성을 하였다.

### 2. 운동방법

본 연구는 진동 운동을 위해 진동 장비(SONIX, SW-VH16 KOREA)를 이용하여 운동을 하였다. 실험군은 일반적 물리치료로 신경발달치료

(NDT) 후 진동운동을 추가적으로 적용하였고, 대조군은 신경발달치료를 적용하였다. 실험군의 모든 중재 시간은 신경발달치료 30분, 진동운동 16분으로 구성하여 하루 46분, 주 5회, 6주간 적용받았고, 대조군은 신경발달치료 30분으로 하루 30분, 주 5회, 6주간 적용받았다.

운동 방법으로 실험군은 진동판에 맨발로 올라서서 진동기기 손잡이를 잡고 엉덩관절과 무릎관절 30° 굽힘 자세를 취하였고 낮은 주파수에서 운동이 효과적이라는 연구를 토대로<sup>24</sup> 주파수를 9Hz, 12Hz, 15Hz를 수정하였고 강도는 30mm를 사용하였다. 진동 적용시간으로는 2분 운동, 2분 휴식, 총 4회를 16분간 적용하였다. 운동 도중 자세를 잡지 못하는 경우 치료사가 자세를 잡아주면서 실시하였다. 훈련은 임상 경력이 5년 이상 된 물리치료사가 훈련 동작에 대한 피드백을 훈련 도중에 주었고 어지러움증의 부작용에 대해 주의를 하며 운동을 실시하였다.

### 3. 측정도구 및 방법

근육의 두께 증가를 확인하기 위해 초음파 영상장치(MyLab25Gold, Esaote, Italy)를 이용하였고 이 초음파 영상 장치는 0.75-0.98의 높은 신뢰도를 가지고 있다.<sup>25</sup> 이 장치 주파수 변조 범위는 6-9MHz이고 gain은 20-80, 변환기는 7.5MHz 선형 탐촉자를 이용하였다. 측정 자세는 바로 누워 무릎에 삼각형 모형의 쿠션을 배치하여 엉덩관절과 무릎관절이 45°가 되도록 유도하였다. 근 두께 측정은 위양엉덩뼈가시(ASIS)와 겨드랑이가 만나는 지점과 배꼽에서 바깥쪽으로 선을 그어 교차되는 지점에서 변환기를 세로로 세워 초음파 화면상 배바깥근이 왼쪽에 위치하게 배바깥근, 배속근, 배가로근의 근막과 근막 사이를 근육 두께로 하여 측정하였고 호흡이 두께에 영향을 미치는 것을 고려하여 호기 마지막에서 측정하였다.<sup>26,27</sup> 모든 근육은 영상 초음파에 관련된 연구경력 5년 이상의 물리치료를 선정하여 신체 외 좌측 근육을 대상으로 3회 반복 측정 후 평균값을 사용하였다.

### 4. 자료분석

본 연구에서 확인된 모든 자료는 SPSS 19.0 (SPSS Inc., Chicago, USA)을 이용하여 연구 대상자의 일반적인 특성은 샤피로-윌크 검정 방법으로 정규성 검정을 하였다. 집단 내의 실험 전과 후의 변화를 확인하기 위해 대응표본 t-검정(Paired t-test)을 하였고 집단 간의 실험 전과 후의 변화는 독립 표본 t-검정(Independent t-test)을 하였다. 통계학적 유의수준은  $\alpha=0.05$ 로 하였다.

## 결 과

### 1. 연구 대상자의 일반적인 특성

본 연구의 실험군에 참여한 대상자의 평균 연령은  $7.3 \pm 1.3$ 세, 평균 신

**Table 1.** General characteristics of subjects (N = 20)

	EG (n = 10)	CG (n = 10)	p
Sex (M/F)	4/6	4/6	
Age (yr)	7.3±1.3	7.6±1.3	0.634
Height (cm)	103.1±6.6	101.8±6.1	0.813
Weight (kg)	18.7±2.5	18.4±2.4	0.691

Mean±SD.

EG: experimental group, CG: control group.

장 103.1±6.6cm, 평균 몸무게 18.7±2.5kg으로 나타났으며 대조군에 참여한 대상자의 평균 연령은 7.6±1.3세, 평균 신장 101.8±6.1cm, 평균 몸무게 18.4±2.4kg으로 나타났다(Table 1).

## 2. 배바깥빗근 변화

중재 방법에 따른 집단 간 변화에서 6주 후에 실험군과 대조군에서 유의한 증가가 있었고(p<0.05), 집단 간 차이는 대조군보다 실험군에서 유의한 증가가 있었다(p<0.05)(Table 2).

## 3. 배속빗근 변화

중재 방법에 따른 집단 간 변화에서 6주 후에 실험군과 대조군에서 유의한 증가가 있었고(p<0.05), 집단 간 차이는 대조군보다 실험군에서 유의한 증가가 있었다(p<0.05)(Table 2).

## 4. 배가로근 변화

중재 방법에 따른 집단 간 변화에서 6주 후에 실험군과 대조군에서 유의한 증가가 있었고(p<0.05), 집단 간 차이는 대조군보다 실험군에서 유의한 증가가 있었다(p<0.05)(Table 2).

## 고 찰

본 연구는 6주간 뇌성마비 아동을 대상으로 진동운동을 적용 후 몸통 안정성에 관여하는 배바깥빗근과 배속빗근, 배가로근의 두께 변화를 확인하고자 하였다.

진동운동의 기전은 인체의 근육방추(muscle spindle)와 골지힘줄기관(golgi tendon organ)을 자극하여 Ia 섬유나 II형 섬유의 반사적 근수축을 일으키고 긴장성 진동반사(tonic vibration reflex)를 유도하여 해당 근육의 활동을 촉진한다.<sup>28,29</sup> Ia 또는 II형 섬유에 진동적용이 해당 근육의 반사적 수축을 일으키고 길항근의 경직 감소 효과를 동시에 나타낸다.<sup>30</sup>

다발성경화증 환자에서 진동운동은 코어근육의 근력과 지구력을 개선시키고, 파킨슨 환자에서 무릎 펌근의 근육 활성화를 활성화하고, 사지마비 환자에서 근육 경직을 감소하여 진동 운동이 다양한 질환에 폭넓게 사용될 수 있다고 확인할 수 있다.<sup>28-30</sup>

**Table 2.** A comparison of between pro-post (mm)

	EG	GG	t	p <sup>†</sup>
EOT				
Pre	0.17±0.04	0.17±0.05		
Post	0.25±0.04	0.19±0.05		
Difference	0.07±0.01	0.01±0.11	2.940	0.009*
t	18.522	-5.46		
p <sup>‡</sup>	<0.001**	<0.001**		
IOT				
Pre	0.20±0.05	0.19±0.06		
Post	0.28±0.06	0.21±0.06		
Difference	0.08±0.01	0.02±0.01	2.433	0.026*
t	13.824	7.667		
p <sup>‡</sup>	0.000**	0.000**		
TAT				
Pre	0.15±0.04	0.15±0.05		
Post	0.21±0.02	0.17±0.05		
Difference	0.07±0.03	0.02±0.01	2.773	0.013*
t	8.500	6.708		
p <sup>‡</sup>	<0.001**	<0.001**		

Mean±SD.

EG: experimental group, CG: control group, EOT: external oblique thickness, IOT: internal oblique thickness, TAT: transversus abdominis thickness.

\*p<0.05, \*\*p<0.001, †Paired t-test, ‡Independent t-test.

본 연구에서 진동운동을 이용하여 확인한 결과 실험군과 대조군의 배바깥빗근과 배속빗근, 배가로근의 집단 내 근 두께의 변화는 6주 후에 유의한 증가를 보였고, 집단 간 변화에서 대조군보다 실험군에서 유의한 증가를 보였다. 이것은 다양한 주파수의 진동운동이 Ia 또는 II형 근육섬유의 반사적 수축과 함께 길항근의 경직감소효과로 인한 영향이라고 생각된다.

본 연구에서 확인된 결과는 두 가지로 해석이 가능하다.

첫째로 다양한 주파수를 이용한 진동운동은 근력에 영향을 준다. 진동 특정 주파수인 20Hz 미만의 진동 주파수는 허리안정성과 고유수용성 감각을 향상한다.<sup>31,32</sup> Jeong과 Kim<sup>33</sup>은 5-25Hz, 3-6mm 진폭의 진동운동이 앞정강근, 긴종아리근, 장딴지근의 근활성도를 증가했다고 보고하였다. Yoon 등<sup>34</sup>은 26Hz의 낮은 주파수에서 진동운동이 근육 강화에 효과적임을 증명하였다.

Tseng 등<sup>35</sup>은 20Hz의 진동운동이 근육 활성화에 효과적이라고 하였다. 이것은 본 연구의 측정부위와는 다르지만 근활성도의 증가와 본 연구의 두께 증가가 높은 상관관계가 있는 점을 볼 때,<sup>9</sup> 유사하다고 볼 수 있겠다.

Song 등<sup>36</sup>은 뇌성마비 아동에서 주파수 1-9Hz와 진폭 30mm의 진동운동을 하루 50분 12회 적용하였는데 엉덩관절 펌근과 오른쪽 발바닥 굽힘근의 근긴장도가 감소하고 척추세움근과 배곧은근의 근활성도의 증가를 보고하였다.

Deborah 등<sup>37</sup>은 20Hz 진동운동은 대 동작 기능분류 시스템의 레벨 II와 III에 해당하는 뇌성마비 아동의 보행에서 지구력을 증가한다. 이것은 본 연구에서 이용한 낮은 주파수 9Hz, 12Hz, 15Hz를 이용해 나타난 결과와 유사함을 확인하였다.

Kang 등<sup>38</sup>은 50Hz보다 낮은 주파수의 진동운동이 다리근육의 활성화와 몸통근육에 영향을 미친다고 보고하였다. 또한 Jeong 등<sup>39</sup>은 낮은 주파수의 진동이 발바닥을 통한 신체의 불안정성을 증가하고 몸통근육의 배바깥빗근, 배속빗근, 배가로근의 수축을 증대하는 결과로 이어진다고 보고하였다. 진동운동을 통한 근육의 활성화 증가는 본 연구의 배바깥빗근과 배속빗근, 배가로근의 두께증가와 같으며 진동이 다리에 전달되어 허리골반복합체의 안정성에 영향을 준다고 생각된다.

본 연구의 낮은 주파수의 진동운동은 배바깥빗근, 배속빗근, 배가로근의 증가된 활성화로 몸통안정성이 증가하였다고 생각된다. 그리고 진동운동에 의해 신체의 성장호르몬 농도가 증가하는데<sup>39</sup> 이것은 근육의 진동운동의 적용이 성장호르몬을 자극시키고 근육의 두께 증가에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

둘째, 진동판에서 무릎과 엉덩관절의 굽힘자세는 몸통근육을 강화한다. Wirth 등<sup>40</sup>은 진동운동과 함께 진동판의 진폭, 주파수, 진동판과 근육의 거리 그리고 균형에 영향을 주는 자세가 몸통근육을 활성화한다고 하였다.

Lee와 Kim 등<sup>41</sup>은 24명의 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 능동 진동운동이 만성 뇌졸중 환자의 몸통 근육 활동, 균형 및 일상생활 활동에 미치는 영향을 연구하였는데 능동 진동운동이 만성 뇌졸중 환자의 체간 근육활동, 균형 및 일상생활 활동을 효과적으로 개선함을 입증하였다.

Park 등<sup>42</sup>은 신체의 낮은 무게중심과 진동운동은 더 많은 몸통근육의 활성화와 함께 몸통의 불안정성을 가중한다고 하였다. 이것은 허리통증환자를 대상으로 무릎과 엉덩관절 30°굽힘 자세에서 진동운동이 몸통근육의 두께에 영향을 미치는 본 연구 결과와 유사하였다.

Maeda 등<sup>43</sup>은 몸통근육강화 프로그램에서 전신진동운동은 균형 테스트에서 몸통굽힘근의 등척성 근력과 범위가 증가될 수 있다고 보고하였다. 이것은 진동운동 가져오는 자세안정화의 결과로 생각된다.

본 연구는 결과는 특정 지역과 특정 연령의 경직형 뇌성마비 아동을 대상으로 하였고 다양한 자세와 주파수 및 강도를 적용하지 못해 일반화하기는 어렵다. 그러나 임상적 관점으로 진동운동 적용은 뇌성마비아동의 몸통 근육의 활성화도 증가와 근육 두께증가 그리고 신체의 안정성 증가와 관련이 있다고 생각한다. 향후에 본 연구에서 미처 확인하지 못한 여러 근육의 활성화도 변화와 다양한 연령층 그리고 뇌성마비 유형의 연구를 통해 질적 연구가 필요해 보인다.

## REFERENCES

- Rosenbaum P, Paneth N, Leviton A et al. A report: the definition and classification of cerebral palsy april 2006. *Dev Med Child Neurol*. 2007; 109(1):8-14.
- Durkin MS, Benedict RE, Christensen D et al. Prevalence of cerebral palsy among 8-year-old children in 2010 and preliminary evidence of trends in its relationship to low birthweight. *Paediatr Perinat Epidemiol*. 2016;30(5):496-510.
- Damiano D, Quinlivan J, Owen B et al. Spasticity versus strength in cerebral palsy: relationships among involuntary resistance, voluntary torque, and motor function. *Eur J Neurol*. 2001;8(5):40-9.
- Donker SF, Ledebt A, Roerdink M et al. Children with cerebral palsy exhibit greater and more regular postural sway than typically developing children. *Exp Brain Res*. 2008;184(3):363-70.
- Elder GC, Kirk J, Stewart G et al. Contributing factors to muscle weakness in children with cerebral palsy. *DMCN*. 2003;45(8):542-50.
- Kumar P, Sankhyan N. Cerebral palsy more than just spasticity. *Indian J Pediatr*. 2022;18:321-2.
- Lee HK, Cho YH, Lee JC. The effect of improve the waist flexibility, the waist muscular strength and the waist balance which grafted in William & Mckenzie exercise with swiss ball. *J Korean Soc Phys Med*. 2013;8(4): 479-87.
- Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ et al. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. part 1: mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2009;17(7):705-29.
- McMeek JM, Beith ID, Newham DJ et al. The relationship between EMG and change in thickness of transverses abdominis. *Clin Biomech*. 2004;19(4):337-42.
- Adguzel H, Elbasan B. Effects of modified pilates on trunk, postural control, gait and balance in children with cerebral palsy: a single-blinded randomized controlled study. *Acta Neurol Belg*. 2022:1-12.
- Park SH, Son SM, Choi JY. Effect of posture control training using a virtual reality program on sitting balance and trunk stability in children with cerebral palsy. *NeuroRehabilitation*. 2021;48(3):247-54.
- Song EJ, Lee EJ, Kwon HY. The effects of sling exercise program on balance and body activities in children with spastic cerebral palsy. *J Exerc Rehabil*. 2021;17(6):410-7.
- Santamaria V, Khan M, Luna T et al. Promoting functional and independent sitting in children with cerebral palsy using the robotic trunk support trainer. *IEEE Trans Neural Syst Rehabilitation Eng*. 2020;28(12): 2995-3004.
- El Shemy SA. Trunk endurance and gait changes after core stability training in children with hemiplegic cerebral palsy: a randomized controlled trial. *J Back Musculoskelet Rehabil*. 2018;31(6):1159-67.
- Kurt C, Peknl E. Acute effect of whole body vibration on isometric strength, squat jump, and flexibility in well-trained combat athletes. *Biol Sport*. 2015;32(2):115-22.
- Kim S, Rhim Y. Effect of whole body vibration on enhancing neuromuscular performance: a quantitative review. *KCDC*. 2007;9(3):115-26.
- Monteiro-Oliveira BB, Coelho-Oliveira AC, Paineiras-Domingos LL et al. Use of surface electromyography to evaluate effects of whole-body vibration exercises on neuromuscular activation and muscle strength in



- the elderly: a systematic review. *Disabil Rehabil.* 2021;26:1-10.
18. Paineiras-Domingos Laisa Liane, Sá-Caputo Danúbia da Cunha de, Moreira-Marconi Eloá et al. Can whole body vibration exercises affect growth hormone concentration? a systematic review. *Growth Factors.* 2017;35(4-5):189-200.
  19. Giunta M, Cardinale M, Agosti F et al. Growth hormone-releasing effects of whole body vibration alone or combined with squatting plus external load in severely obese female subjects. *Obes Facts.* 2012;5(4):567-74.
  20. Coelho-Oliveira AC, Lacerda ACR, De Souza ALC et al. Acute whole-body vibration exercise promotes favorable handgrip neuromuscular modifications in rheumatoid arthritis: a cross-over randomized clinical. *Biomed Res Int.* 2021;(2):9774980.
  21. Lopes-Souza P, Dionello CF, Bernardes-Oliveira CL et al. Effects of 12-week whole-body vibration exercise on fatigue, functional ability and quality of life in women with systemic lupus erythematosus: a randomized controlled trial. *J Bodyw Mov Ther.* 2021;27:191-9.
  22. Kim YN, Lee DK. Effects of active vibration exercise on neck pain, disability index, and muscle activity of patients with forward head posture. *J Korean Phys Ther.* 2018;30(6):218-23.
  23. Faul F, Erdfelder E, Buchner A et al. Statistical power analyses using  $g^*$  power 3.1: tests for correlation and regression analyses. *Behav Res Methods.* 2009;41(4):1149-60.
  24. 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.
  25. Kim CY, Choi JD, Kim SY et al. Reliability and validity of ultrasound imaging and semg measurement to external abdominal oblique and lumbar multifidus muscles. *Phys Ther.* 2011;18(1):37-46.
  26. Park JC, Kim YN. The effect of a modified side-bridge exercise on the thickness of trunk muscles in healthy adults. *PNF and Mov.* 2021;19(1):127-35.
  27. Hodges PW, Gandevia SC. Changes in intra-abdominal pressure during postural and respiratory activation of the human diaphragm. *J Appl Physiol.* 2000;89(3):967-76.
  28. Abbasi M, Yoosefinejad AK, Poursadeghfard M et al. Whole body vibration improves core muscle strength and endurance in ambulant individuals with multiple sclerosis: a randomized clinical trial. *Mult Scler Relat Disord.* 2019;(32):88-93.
  29. Chang CM, Tsai CH, Lu MK et al. The neuromuscular responses in patients with parkinson disease under different conditions during whole-body vibration training. *BMC Complement Med Ther.* 2022;22(1):1-9.
  30. Mirecki MR, Callahan S, Condon KM et al. Acceptability and impact on spasticity of a single session of upper extremity vibration in individuals with tetraplegia. *Spinal Cord Ser Cases.* 2022;8(1):1-6.
  31. Rittweger J, Mutschelknauss M, Felsenberg D. Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole body vibration exercise as compared to exhaustion by squatting exercise. *Clin Physiol.* 2003;23(2):81-6.
  32. Zheng YL, Hu HY, Liu XC et al. The effects of whole-body vibration exercise on anticipatory delay of core muscles in patients with nonspecific low back pain. *Pain Res Manag.* 2021;2021(3):9274964.
  33. Jeong YS, Kim JH. Effects of whole body vibration exercise on lower extremity muscle activity and balance ability in football player with chronic ankle instability. *J Korean Phys Ther.* 2017;29(6):293-8.
  34. Yoon GH, Ji CG, Park JS. The effect of the frequency of whole body vibration on power and jump performance capability of lower limb. *J Leis Res.* 2014;56(2):877-84.
  35. Tseng SY, Ko CP, Tseng CY et al. Is 20 Hz whole-body vibration training better for older individuals than 40 Hz? *Health is Int J Environ Res.* 2021;18(22):11942.
  36. Song S, Lee K, Jung S et al. Effect of horizontal whole-body vibration training on trunk and lower-extremity muscle tone and activation, balance, and gait in a child with cerebral palsy. *Am J Med Case Rep.* 2018;19:1292-300.
  37. Deborah T, Renuka MV, Paul LH et al. The effect of vibration therapy on walking endurance in children and young people with cerebral palsy: do age and gross motor function classification system matter? *Arch Rehabil Res Clin Transl.* 2020;2(3):100068.
  38. Kang SR, Kim GW, Ko MH et al. The effect of exercise load deviations in whole body vibration on improving muscle strength imbalance in the lower limb. *Technol Health Care.* 2020;28(S1):103-14.
  39. Jeong JG, Park JC. The effect of wall squat exercise according to the difference in the support surface on the muscle thickness and balance of the trunk. *JKPTS.* 2021;28(3):64-72.
  40. Wirth B, Zurfluh S, Mller R. Acute effects of whole-body vibration on trunk muscles in young healthy adults. *J Electromyogr Kinesiol.* 2011;21(3):450-7.
  41. Lee DK, Kim EK. Effects of active vibration exercise on trunk muscle activity, balance, and activities of daily living in patients with chronic stroke. *J Kor Phys Ther.* 2018;30(4):146-50.
  42. Park JC, Lee DK, Oh SK. The effects of resistance circle-ring exercises with vibration on the muscle thickness with low back pain. *BJSTR.* 2020;30(2):23232-32337.
  43. Maeda N, Urabe Y, Sasadai J et al. Effect of whole-body-vibration training on trunk-muscle strength and physical performance in healthy adults: preliminary results of a randomized controlled trial. *J Sport Rehabil.* 2016;25(4):357-63.