

Original Article

Open Access

전신진동 자극 훈련이 경직형 뇌성마비 아동의 고유수용감각 및 촉각에 미치는 영향

윤혜령 · 이은주[†]

경성대학교 대학원 물리치료학과, 양산부산대학교병원 물리치료실, ¹경성대학교 물리치료학과

Effect of Whole Body Vibration Training on Proprioception and Tactile in Spastic Cerebral Palsy

Hye-Lyeong Yun, PT, MS, · Eun-Ju Lee, PT, Ph.D.[†]

Department of Physical Therapy, Graduated school of Kyungsoong University, Republic of Korea

Department of Physical Therapy, Pusan National University Yangsan Hospital, Republic of Korea

¹Department of Physical Therapy, Kyungsoong University, Republic of Korea

Received: March 24, 2022 / Revised: April 2, 2022 / Accepted: April 4, 2022

© 2022 Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association

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.

| Abstract |

Purpose: The purpose of this study was to investigate the effects of whole-body vibration stimulation on proprioception and tactile in patients with spastic cerebral palsy.

Methods: This study was conducted on 9 children diagnosed with spastic cerebral palsy. Of the single case study methods, the ABAB design was employed in this study. Out of a 12-week study period, three weeks were allocated to each of two baseline periods and two intervention periods. The exercise was performed twice a week for 30 minutes. A general trunk stabilization exercise was performed during the baseline period and a trunk stabilization exercise accompanied with whole-body vibration was performed during the intervention period. Evaluation was performed five times in total: before the experiment, after baseline 1, after intervention 1, after baseline 2, and after intervention 2. To determine the effect of the exercise method, a skin sensory evaluation tool (monofilament kit) and a trunk proprioception sensor (digital dual inclinometer) were used. To compare the effects of the exercises at baseline and after intervention, an analysis of variance on repeated measures (repeated ANOVA) was performed to analyze the data.

Results: The results showed that there were statistically significant increases from baseline in the means of proprioception and tactile during the intervention period with whole-body vibration ($p < .05$).

Conclusion: Whole-body vibration can be proposed as an effective intervention method for improving the proprioception and tactile in children with spastic cerebral palsy, and this exercise method is expected to be actively used in clinical practice.

[†]Corresponding Author : Eun Ju Lee (nkdreamju@hanmail.net)

Key Words: Cerebral palsy, Whole-body vibration, Proprioception, Tactile, ABAB design

I. 서론

뇌성마비는 발달 중인 태아 또는 유아의 뇌에서 발생하는 비 진행성 손상으로 인하여 자세와 운동 발달에 영구적인 장애가 발생되어 활동 제한이 초래되며 운동 장애 외에 감각, 지각, 인지, 의사소통 및 행동 장애, 간질 및 이차 근골격계 문제가 동반되는 질환이다(Boxter et al., 2007). 경직형 뇌성마비는 비정상적인 근긴장도와 반사로 인해 운동의 시작이 어렵고, 다양한 동작을 충분히 경험하지 못하여 근길이 성장 감소, 근두께 감소, 근동원 크기 변화, 근섬유 형태 변화 등 조직학적 변화가 근육에 발생한다. 이는 근력의 약화, 관절의 구축, 변형, 탈구 같은 뇌성마비의 이차적인 근골격계 문제로 이어지며 아동의 환경 탐구 활동 및 학습 경험을 제한시켜 감각 정보 처리능력을 더욱 감소시키고 자세조절 능력 저하, 운동계획 및 실행 장애를 야기하게 된다(Kurz et al., 2015).

몸감각 장애는 뇌성마비 아동의 약 90%에게 나타나며 움직임 시 골격근의 구조와 기능에 문제를 유발하여 환경변화에 적응하기 어렵게 만든다(Bleyenheuft & Gordon, 2013). 몸감각(somatosensation)은 고유수용 감각과 촉각으로 이루어지며 피부, 근육, 관절에 분포되어 있는 근방추, 골지힘줄기관, 그리고 관절과 피부의 감각 신경 분포에서 발생한다. 신체의 촉각, 통증, 온도, 팔다리 위치 감각은 척수의 축삭을 통해 상행하여 백색질을 거쳐 대뇌 피질로 전달된다. 이때, 미성숙한 뇌의 백색질 손상은 뇌성마비 감각 손상의 중요한 요인이 된다(Winger., et al., 2009; Brun et al. 2021).

뇌성마비 아동의 불안정한 몸통과 골반은 인접된 신체에 바르지 못한 정렬을 초래하고 왜곡된 운동 감각을 뇌에 전달하여 비정상적인 운동 출력을 야기한다(Van Roon et al., 2005). 뇌성마비 아동이 올바른 몸통의 정렬을 인식하고 정확하게 움직이기 위해서는 정상적인 감각 처리 능력이 필요한데 이것은 피부,

근육, 관절에 분포되어 있는 몸감각수용기의 입력에 의해 크게 영향을 받는다. 선행 연구에 의하면 편마비 아동의 상지는 물체의 무게, 질감, 모양 등을 통해 물체를 특정하지 못하는 촉각 결함을 가지고 있으며, 경직형 뇌성마비 아동들의 하지에는 위치감각, 촉각의 결핍이 나타난다고 하였다(McLaughlin et al., 2005; Wingert et al., 2008; Bleyenheuft & Gordon, 2013).

최근 뇌성마비의 치료는 이차적인 근골격계 문제를 불안정한 자세 조절의 주요 원인으로 여기고 접근하여 근력 강화 운동에 대해 높은 관심을 보이고 과학과 기술의 발달에 따라 다양한 의료장비를 적용하는 추세이다(Damiano., et al., 2009; Franki., et al., 2012; Richards & Malouin., 2013). 전신진동 자극 훈련은 진동 판위에 선자세로 정적 혹은 동적인 움직임을 수행하며 신체 대부분의 수용체를 자극시킨다(Rittweger, 2010; Duquette et al., 2015). 발바닥의 몸감각 수용체 자극은 대상자의 척수반사 흥분 능력을 촉진시키며 근육 활성을 유발한다(Lebedev & Poliakov, 1991). 이는 뇌성마비 아동의 근력을 향상시키고 뇌성마비 아동 스스로 올바른 자세를 지속적으로 인식하게 하여 정상 운동 발달을 촉진시킨다(Ahlborg et al., 2006; Ritzmann et al., 2013). 뇌성마비를 대상으로 한 전신진동 자극 훈련 연구를 살펴보면 전신진동이 뇌성마비의 대동작 기능 향상(Ahlborg et al., 2006; Katusic et al., 2013), 균형 향상(Ko et al., 2015; Ali et al., 2019), 다리 및 복부 근두께 향상(Unger et al., 2013; Lee, 2019), 근력향상(Nordlund, 2007)에 효과적이라고 하였다. 이와 같이 전신진동 훈련이 뇌성마비의 운동기능에 미치는 영향에 관한 연구는 활발히 이루어지고 있지만 감각에 직접적으로 미치는 연구는 매우 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 경직형 뇌성마비 아동을 대상으로 전신진동 자극 훈련을 실시하여 뇌성마비 아동의 고유수용감각 및 촉각에 미치는 영향을 알아보아 뇌성마비 치료 발전에 기여하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구대상

본 연구는 Y시에 소재하고 있는 Y 대학병원에 내원하는 경직형 뇌성마비 아동 중 연구 조건에 맞는 9명을 대상으로 진행하였다. 대상자와 대상자의 보호자 모두에게 본 연구의 취지에 대해서 충분한 설명을 하였고, 실험에 자발적 참여 동의를 얻은 후 시행하였다. 본 연구대상자의 선정기준은 다음과 같다. 대동작 기능 분류 시스템(gross motor function classification system, GMFCS) 평가에서 level 1~3으로 분류되며 독립적으로 앉기가 가능하고 마비측 상·하지 경직이 수정판 애쉬워스 경직 척도(modified ashworth scale, MAS) G2 이하이며 소아 의식 척도(rancho los amigos) 1단계에 해당되어 연령에 맞게 자유롭게 의사소통이 가능하고 최근 6개월 이내 정형외과적 수술, 보툴리눔 독소 주사 치료를 받지 않은 아동을 대상으로 하였다.

2. 연구절차

본 연구는 단일사례연구 방법 중 기초선-중재-기초선-중재 단계로 수행되는 ABAB(A single-group ABAB experimental design)설계로 진행하였다. 연구 기간은 주 2회 총 12주 기간으로 기초선기간과 중재 기간은 각각 3주로 배정하였다. 기초선에는 뇌성마비 근력강화를 위한 일반적인 몸통 안정화 운동을 실시하였고 중재기에는 몸통안정화 운동 외 전신 진동 자극 훈련을 추가로 시행하였다. 모든 아동에게 총 12주동안 주 2회 운동을 적용하였으며 평가는 실험전, 기초선 3주 후, 중재 3주 후, 기초선 3주 후, 중재 3주 후 총 5번 진행되었다. 정확한 측정을 하기 위해 측정 평가 도구에 익숙한 치료사 1명이 동일한 조건에서 측정하였다(Jung & Kim, 2013). 본 연구는 K대학교의 생명윤리위원회에 의해 승인 받았으며 승인번호는 KSU-20-12-008이다.

3. 운동방법

모든 단계의 운동 프로그램은 준비 운동5분, 본 운동 20분, 정리 운동 5분으로 운동 시간은 30분이며 주 2회, 12주간 동안 총 24회 실시되었다. 본 운동 20분은 기초선 단계에서는 몸통 안정화 운동만을, 중재선 단계에서는 전신 진동 자극 훈련 11분, 몸통 안정화 운동 9분을 각각 시행하였다. 몸통 안정화 운동은 Shin(2016)의 연구를 근거로 복부 당김 운동(draw-in exercise)운동, 수정된 윗몸 일으키기 운동(Modified curl up exercise), 교각 운동(bridging exercise) 세 가지 중 각각 아동에 맞게 선정하여 실시하였다. 전신 진동 자극 훈련은 갈릴레오 시스템 장비(Galileo®, Novotec Medical GmbH, Germany)를 사용하여 주파수는 18~24HZ, 진폭은 상하 2~6mm 변위로 설정하였다(Seo & Kim, 2013)(Figure 1). 근피로감을 줄이기 위해 3분 전신 진동 훈련 후 1분 휴식하는 것을 1세션(session)으로 총 3세션 수행하였다. 모든 중재는 발가락 구부림, 주먹을 꽉 쥐, 분절적으로 신체를 움직이기 어려움, 비대칭적인 자세, 입술과 혀가 뒤로 당겨짐 등 보상 경직이 나타나지 않는 범위에서 시행하였다.



Fig. 1. Whole body vibration training with standing position.

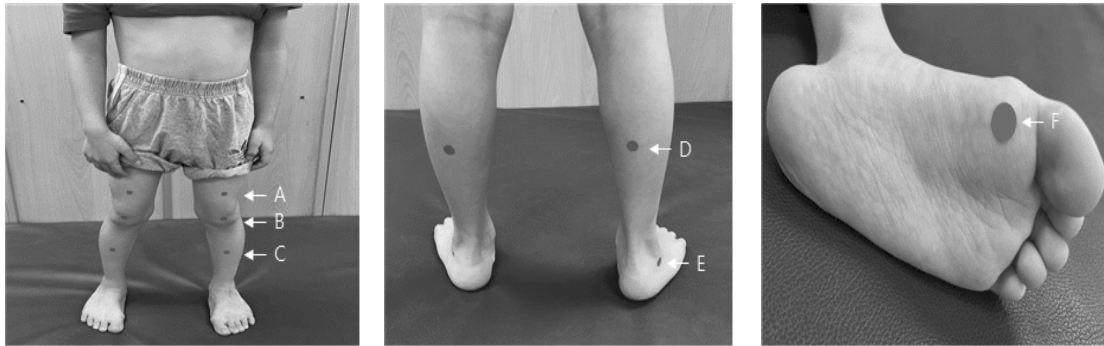


Fig. 2. Cutaneous sensation measurement part.

4. 측정

1) 촉각

촉각은 모노필라멘트(Baseliners, White Plains, USA)를 사용하였으며 뇌성마비 아동의 긴장도가 더 심한 쪽을 택하여 3회 측정 후 평균값을 구하였다. 직경에 따라 모노필라멘트의 번호가 있으며 2.83 모노필라멘트 검사 시 감지하면 정상, 3.61 모노필라멘트 감지 시 가벼운 촉각 감소, 4.31 모노필라멘트 감지 시 보호 감각의 감소, 4.56 모노필라멘트 감지 시 보호 감각의 상실, 6.65 모노필라멘트 감지 시 깊은 부위 압각 외의 모든 감각의 손실, 6.65 모노필라멘트 무반응 경우 모든 감각의 결손을 의미한다. 작은 직경의 모노필라멘트를 사용하여 감지하지 못하면 더 큰 직경의 모노필라멘트를 사용하여 측정하는데, 더 큰 직경의 모노필라멘트를 느낄수록 감각이 떨어지는 것을 의미한다. 급내상관계수는 0.75-0.84 이다(Van Brakel et al., 1996). 촉각 측정시 적용한 부위는 무릎뼈와 위앞엉덩뼈가시의 중간 부위(A), 무릎뼈부위(B), 무릎뼈와 발목관절의 중간 부위(C), 다리오금과 발꿈치뼈의 중간 부위(D), 가쪽 복사뼈 부위(E), 첫 번 발허리뼈 머리의 발바닥 부위(F)이다(Figure 2).

2) 고유수용감각

본 연구에서는 몸통 고유수용감각을 측정하기 위해

듀얼 디지털 경사계(Acumar dual digital inclinometer, Lafayette instrument, USA)를 사용하였다. 몸통 고유수용감각 검사는 대상자가 목표 각도(target angle)를 재현하여 오차 값을 계산하는 방법으로 시행하였다. 측정시 1차 센서는 T12 레벨에 보조 센서는 S1 레벨에 배치하여 시상면에서 몸통 재위치 감각오류를 측정하였고 벨크로 스트랩으로 디지털 경사계를 고정하였다. 지지할 곳이 없는 정사면체의 박스에 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절이 90°로 유지된 상태로 중립 자세를 취하여 치료사의 안내에 따라 목표 각도까지 도달하게 하였다. 이후 5초간 수동적인 위치 감각을 아동에게 숙지시키고 눈을 감은 상태에서 스스로 그 위치를 다시 재현하도록 하였다(Figure 3). 목표 각도는 허리 굽힘 30°로 설정하였으며 재현 각도와 목표 각도 간의 오차 값이 작을수록 몸통 위치 감각이 양호하다는 것



Fig. 3. Digital Dual Inclinometer measurement.

을 의미한다. 몸통의 각 각도를 3회씩 실시하여 자세 재현의 오차의 평균값을 구하였다.

5. 자료분석

전신 진동 자극을 동반한 몸통 안정화 운동이 경직형 뇌성마비 아동의 촉각, 고유수용감각에 미치는 영향을 알아보기 위해 반복 측정 분산분석(repeated ANOVA)을 사용하여 Mauchly의 구형성 검정을 만족하는 경우 개체 내 효과 검정으로 분석하였고, Mauchly의 구형성 검정을 만족하지 못하는 경우에는 다변량 검정(Pillai의 트레이스)으로 분석하였다. 측정 회기별 중재방법에 따른 평균비교는 일원배치 분산분석(One way ANOVA)을 하였고 사후검정으로는 쉐페(Scheffe) 분석방법을 실시하였으며 측정 회기별 변화율을 선 그래프를 이용한 시각 분석법으로 나타내었다. 통계 프로그램은 SPSS 26.0을 사용하였으며 유의수준(α)은 0.05로 하였다.

III. 연구 결과

1. 연구 대상자의 특성

연구의 참여한 뇌성마비 아동은 총 9명으로 양하지 마비 5명, 편마비 4명이며, 평균 연령 6.78±1.30세이다. 수정판 애쉬워스 경직 척도(modified ashworth scale, MAS)는 9명 모두 1단계였고, 대동작 기능 분류체계(GMFCS)는 1단계 5명, 2단계 4명이었다. 그 외 본 연구에 참여한 연구 대상자의 일반적 특성은 다음과 같다 (Table 1).

2. 운동방법에 따른 고유수용감각과 촉각의 평균 비교

1) 고유수용감각 평균 비교

측정 시점별 몸통 고유수용감각 오차값의 평균 변화와 촉각의 평균 변화는 다음과 같다(Table 2). 몸통 고유수용감각(TP)의 오차값은 실험전(A0) 39.40°, 기초선(A1) 39.25°, 중재선(B1) 37.80°, 기초선(A2)

Table 1. General characteristics of subjects (n=9)

Variables	Subjects	
Age(years)	6.78±1.30	
Height(cm)	112.13±15.58	
Weight(kg)	20.66±9.28	
BMI(kg/m ²)	15.91±2.26	
Gender	Male	5(55.6%)
	Female	4(44.4%)
Type	Diplegia	5(55.6%)
	Hemiplegia	4(44.4%)
MAS	I	9(100%)
	Rt	4(44.4%)
	Lt	5(55.6%)
More affected side	I	5(55.6%)
	II	4(44.4%)

Mean±SD

GMFCS: Gross motor function classification system, MAS: Modified ashworth scale

Table 2. Comparison of cutaneous sensation and trunk proprioception according to exercise method

Variable	A0	A1	B1	A2	B2	F	P
TP	39.40±0.38	39.25±0.40	37.80±0.45	37.55±0.41	35.10±0.27	122.46	.00*
MT	3.35±0.39	3.26±0.41	2.83±0.00	2.83±0.00	2.83±0.00	6.40	.02*
Pa	3.61±0.00	3.43±0.34	2.83±0.00	2.83±0.00	2.83±0.00	2.28	.00*
PS	4.07±0.35	3.92±0.36	3.09±0.39	2.83±0.00	2.83±0.00	47.17	.00*
AS	4.15±0.30	4.15±0.30	3.43±0.34	3.17±0.41	2.83±0.00	99.57	.00*
Met	4.31±0.00	4.31±0.00	3.92±0.36	3.67±0.57	3.17±0.41	17.87	.00*
Mal	4.31±0.00	4.31±0.00	4.31±0.00	4.31±0.00	3.92±0.36	10.00	.01*

Mean±SD

*p<.05

unit: CS(g), TP(°)

A0: pre experiment, A1: baseline 1, B1: intervention 1, A2: baseline 2, B2: intervention 2

TP: Trunk proprioceptor, CS: cutaneous sensation, MT: mid-way between the patella and anterior superior iliac spine, Pa: patella, PS: mid-way between the popliteal fossa and calcaneus, AS: mid-way between the patella and the ankle joint, Met: plantar surface of first metatarsal head, Mal: most prominent point of the lateral malleolus

37.55°, 중재선(B2) 35.10°로 중재선 단계인 (B1)과 (B2)가 기초선 단계인 (A1)과 (A2)에 비해 몸통 고유수용 감각 오차값이 통계학적으로 유의하게 감소하였다(p<.05).

2) 촉각 평균 비교

무릎뼈와 위앞엉덩뼈가시 중간 부위(MT)의 촉각은 실험전(A0) 3.35g, 기초선(A1) 3.26g, 중재선(B1) 2.83g, 기초선(A2) 2.83g, 중재선(B2) 2.83g으로 기초선 단계인 (A1)에 비해 중재선 단계인 (B1)에서 통계학적으로 유의하게 더 작은 직경의 필라멘트를 인식하였고 무릎뼈 부위(Pa)의 의 촉각도 실험전(A0) 3.61g, 기초선(A1) 3.43g, 중재선(B1) 2.83g, 기초선(A2) 2.83g, 중재선(B2) 2.83g으로 기초선 단계인 (A1)에 비해 중재선 단계인 (B1)에서 통계학적으로 유의하게 더 작은 직경의 필라멘트를 인식하였다(p<.05). 다리오금과 발꿈치뼈 중간 부위(PS)의 촉각은 실험전(A0) 4.07g, 기초선(A1) 3.92g, 중재선(B1) 3.09g, 기초선(A2) 2.83g, 중재선(B2) 2.83g으로 중재선 단계인 (B1)에서 기초선 단계인 (A1)과 (A2)에 비해 통계학적으로 유의하게 더 작은 직경의 필라멘트를 인식하였고 무릎뼈와 발목관절 중간 부위(AS)의 촉각은 실험전(A0) 4.15g, 기

초선(A1) 4.15g, 중재선(B1) 3.43g, 기초선(A2) 3.17g, 중재선(B2) 2.83g으로 중재선 단계인 (B1)과 (B2)가 기초선 단계인 (A1)과 (A2)에 비해 통계학적으로 유의하게 더 작은 직경의 필라멘트를 인식하였다(p<.05). 발허리뼈 머리 발바닥 부위(Met)의 촉각은 실험전(A0) 4.31g, 기초선(A1) 4.31g, 중재선(B1) 3.92g, 기초선(A2) 3.67g, 중재선(B2) 3.17g으로 중재선 단계인 (B1)과 (B2)가 기초선 단계인 (A1)과 (A2)에 비해 통계학적으로 유의하게 더 작은 직경의 필라멘트를 인식하였고 가쪽 복사뼈 부위(Mal)의 촉각은 실험전(A0) 4.31g, 기초선(A1) 4.31g, 중재선(B1) 4.31g, 기초선(A2) 4.31g, 중재선(B2) 3.92g으로 중재선 단계인 (B2)에서 기초선 단계인 (A1)과 (A2)에 비해 통계학적으로 유의하게 더 작은 직경의 필라멘트를 인식하였다(p<.05).

3. 운동방법에 따른 고유수용감각과 촉각의 변화율 비교

1) 고유수용감각 변화율 비교

전신진동 자극 훈련에 따른 몸통 고유수용감각 오차값 감소 변화율은 다음과 같다(Figure 4). 각 기간별 기초선(A0-A1) 0.38%, 중재선(A1-B1) 3.68%, 기초선

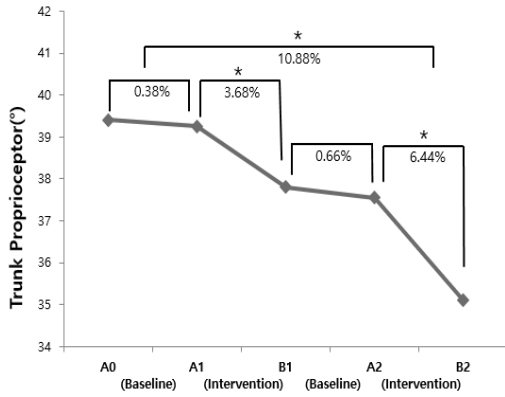


Fig. 4. Comparison of trunk proprioception change rate by period.

(B1-A2) 0.66%, 중재선(A2-B2) 6.44%로 나타나 아동은 기초선에 비해 중재기에 통계학적으로 유의하게 더 큰 변화율을 보였다($p < .05$).

2) 촉각 변화율 비교

전신진동 자극 훈련에 따른 촉각의 각 기간별 필라멘트 인식 변화율은 다음과 같다(Figure 5). 무릎뼈와 위앞엉덩뼈가시 부위(MT)는 기초선(A0-A1) 2.40%, 중재선(A1-B1) 12.00%, 기초선(B1-A2) 0.00%, 중재선(A2-B2) 0.00%이며 무릎뼈 부위(Pa)는 기초선(A0-A1)

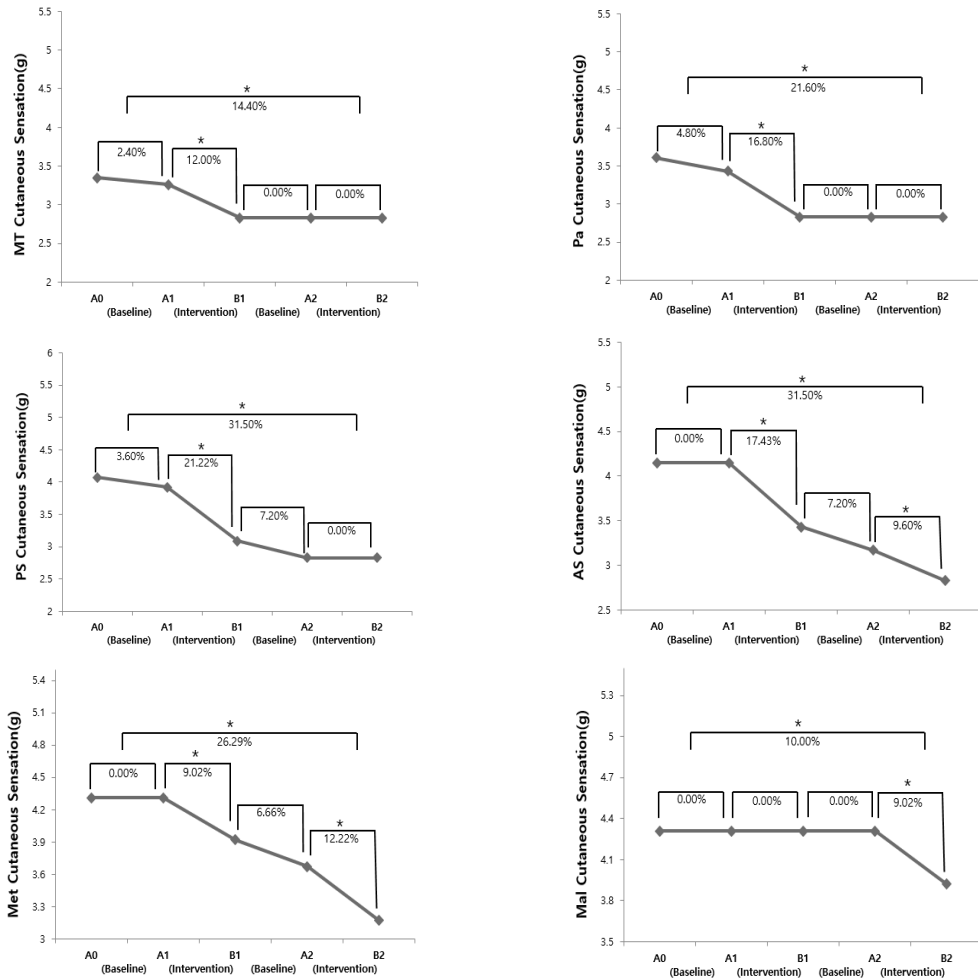


Fig. 5. Comparison of cutaneous sensation change rate by period.

4.80%, 중재선(A1-B1) 16.80%, 기초선(B1-A2) 0.00%, 중재선(A2-B2) 0.00%로 다른 기간에 비해 첫번째 중재기에 통계학적으로 유의한 변화율을 보였다($p<.05$). 또한 다리오금과 발꿈치뼈의 중간 부위(PS)도 기초선(A0-A1) 3.60%, 중재선(A1-B1) 21.22%, 기초선(B1-A2) 7.20%, 중재선(A2-B2) 0.00%로 첫번째 중재기에 통계학적으로 유의한 큰 변화율을 보였다($p<.05$). 무릎뼈와 발목관절의 중간 부위(AS)는 기초선(A0-A1) 0.00%, 중재선(A1-B1) 17.43%, 기초선(B1-A2) 7.20%, 중재선(A2-B2) 9.60%이며 발허리뼈 머리 발바닥 부위(Met)는 기초선(A0-A1) 0.00%, 중재선(A1-B1) 9.02%, 기초선(B1-A2) 6.60%, 중재선(A2-B2) 12.22%로 기초선에 비해 두 번의 중재기 모두 통계적으로 유의한 변화율을 보였다($p<.05$). 가쪽 복사뼈 부위(Mal)는 기초선(A0-A1) 0.00%, 중재선(A1-B1) 0.00%, 기초선(B1-A2) 0.00%, 중재선(A2-B2) 9.02%로 두번째 중재기에 통계학적으로 유의하게 변화율을 보였다($p<.05$).

IV. 고찰

본 연구에서는 경직형 뇌성마비 아동을 대상으로 전신진동자극 훈련을 실시하였고, 그 결과 뇌성마비 아동의 고유수용감각과 촉각이 향상되는 것을 확인하였다. 뇌성마비 아동은 부적절한 체중지지와 자세조절 능력, 비대칭적인 이동 패턴으로 인하여 다양하고 올바른 감각을 경험할 수 있는 기회가 제한되며 움직임과 자세에 대한 잘못된 피드백은 고유수용감각, 촉각 등 몸감각 감소로 이어질 수 있다.(Zarkou et al., 2020; B Riquelme et al., 2014)

균형 능력과 항중력 자세 및 움직임에 대한 지각과 자세안정성을 제공하는 고유수용감각은 나와 공간, 물체 사이의 관계를 이해하게 만들어 우리 몸을 안전하게 움직일 수 있게 한다(Bloem et al., 2000). 이러한 고유수용감각은 체중지지와 항중력 움직임을 통해 발달하는데, 뇌성마비 아동은 올바른 체중지지와 항중

력 움직임을 수행하는데 제한이 많아 고유수용감각이 불충분하게 발달한다. 이에 따라 뇌성마비 아동은 정확한 자세 유지가 어려워 움직임 수행 시 목표지점을 지나치거나 그에 미치지 못하는 형태를 보인다.

경직형 양하지 뇌성마비 아동에게 일반적인 운동 치료 외 전신진동 자극 훈련을 추가로 실시한 선행연구를 살펴보면 전신진동 자극 훈련이 뇌성마비 아동의 균형, 보행속도, 대동작기능을 향상시켰을 뿐만 아니라 몸감각인 고유수용감각, 촉각이 향상되었다고 하였다(Ko, 2016). 본 연구에서도 일반적인 체간안정화 운동만을 받았던 단계인 기초선보다 전신진동 자극 훈련이 있었던 중재선에서 몸통의 고유수용감각과 촉각이 유의하게 향상되는 것으로 보아 전신진동 자극이 몸감각 향상에 효과적이라는 선행연구 결과와 일치함을 확인 할 수 있었다.

전신진동 자극은 일차 및 이차적인 몸 감각 영역과 보조 운동 영역에 입력되어 뇌의 활성화 및 통합 과정을 통해 척수 운동 신경과 운동 피질의 감도를 증가시킨다(Radovanovic et al., 2002; Sayenko et al., 2010). 또한 전신진동 자극은 근육의 구심성 수축(concentric contraction)과 원심성 수축(eccentric contraction)을 반복하게 함으로써 근방추를 활성화시키며 정상적인 관절가동범위에 대한 구심성 감각정보를 제공해 움직임에 대한 관절 위치감각을 효과적으로 전달한다(Burgess et al., 1992). 그리고 말초 기계수용체 자극을 반복하게 함으로써 고유수용감각의 감도를 향상시키고 몸감각 및 운동경로를 활성화시킨다(Rauch, 2009, Midren & Bent, 2016). 이러한 것을 종합하여 봤을 때 본 연구의 전신진동 자극 훈련이 뇌성마비 아동 몸통의 섬세한 위치 재현 조절을 가능하게 하여 고유수용감각 오차가 감소하였을 것으로 사료된다.

경직형 뇌성마비 아동의 긴장도 분포는 근위부인 몸통보다 원위부인 팔다리에서 더 높게 나타난다. Lvan 등(1993)은 뇌성마비 아동과 비장애 아동을 대상으로 2점 식별 촉각 감각을 비교하였는데 실험에 참가하였던 모든 뇌성마비 아동들이 비장애 아동들에 비해 상대적인 촉각 저하가 있었으며 뇌성마비 아동의

신체 내에서는 경직이 높은 부위가 경직이 낮은 부위에 비해 촉각 감소가 더 있었다고 하였다. 본 연구의 뇌성마비 아동들도 모노 필라멘트 촉각 측정 결과 상대적으로 근위부에 속하는 무릎뼈와 위앞엉덩가시 중간 부위(MT)가 원위부에 속하는 발허리뼈 머리 발바닥 부위(Met)에 비해 초기 더 낮은 직경의 모노필라멘트를 인식하는 것으로 나타나 경직이 더 높은 부위일수록 감각 저하가 더 컸다. 각 기간별 필라멘트 인식 변화율에서는 상대적 근위부에 속하는 무릎뼈와 위앞엉덩가시 중간 부위(MT) 무릎뼈 부위(Pa)가 첫번째 증재기부터 유의하게 큰 변화율을 보이며 촉각 반응의 정상을 나타내는 가장 작은 직경의 모노필라멘트 까지도 인식한 반면, 상대적 원위부에 속하는 발허리뼈 머리 발바닥 부위(Met) 가쪽 복사뼈 부위(Mal)는 두번의 증재기가 끝난 시점에서도 유의한 변화율만 있을 뿐 가장 작은 직경의 모노필라멘트는 인식하지 못하여 경직이 더 높은 부위일수록 촉각 저하가 더 크고 회복이 더디다는 것을 확인 하였다. 무릎뼈와 발목관절 중간 부위(AS)는 진동 자극 훈련이 진행될수록 가장 작은 직경의 모노필라멘트를 인식하였고 발허리뼈 머리 발바닥 부위(Met)도 전신진동 자극 증재기 마다 통계학적으로 유의하게 큰 변화율을 보여 전신진동 자극 훈련이 뇌성마비 아동의 촉각을 향상시키는 것을 확인할 수 있었다.

Ko(2016)는 전신진동 자극 훈련을 뇌성마비 아동에게 실시하고 하지 촉각에 미치는 영향을 확인하였을 때 가쪽 복사뼈 부위의 변화율이 가장 적었다고 하였다. 본 연구도 가쪽 복사뼈 부위(Mal)는 첫번째 증재기에는 변화가 없었고 두번째 증재기 이후에야 유의한 변화율을 보였지만 다른 부위에 비해 변화율 폭이 상대적으로 적었다. 이와 같은 결과는 가쪽 복사뼈 부위가 뇌성마비 신체에서 근긴장도가 높은 원위부에 속하는 동시에 힘줄과 근육이 지나가지 않는 뼈 부위로 진동 자극 전달이 제한될 수 있기 때문에 변화의 폭이 적었을 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점은 다음과 같다. 연구에 참여한 대상자의 수가 많지 않아 모든 연령대와 다양한 기능

수준의 뇌성마비 아동들에게 본 연구결과를 일반화시키기 어렵고 개선된 감각이 뇌성마비 아동의 일상생활 활동 기능에 어떤 영향을 미치는지 검증 하지 못하였다는 것이다. 따라서 추후에는 본 연구의 제한점을 보완하여 다양한 연령대와 기능 수준을 가진 뇌성마비 아동을 대상으로 하는 연구와 감각 향상이 일상생활 활동 기능에 미치는 영향을 확인하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구에서는 전신진동 자극 훈련이 경직형 뇌성마비 아동의 고유수용감각 및 촉각에 미치는 영향을 알아보았고 연구 결과 전신진동 자극이 뇌성마비 아동의 고유수용감각 및 촉각을 향상시키는 것을 확인하였다. 뇌성마비 아동의 고유수용감각 및 촉각의 감소는(Wingert, et al., 2009; Goble, et al., 2009) 의부로부터 정확한 정보 입력과 원활한 운동 출력(JANS. Tecklin, 2015)을 어렵게 하고 환경과의 상호작용을 제한하며 신체상(body scheme), 운동계획능력에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 또한 손상된 고유수용 감각과 촉각은 뇌성마비가 갑작스런 위험 상황에 처하게 될 때 반사적 자세 조절 능력을 제한, 몸통안정성을 유지하거나 균형을 회복하지 못하게 하여 사고로 이어질 수 있다(Donker, et al., 2008). 이에 본 연구자는 뇌성마비 아동의 감소된 고유수용감각과 촉각을 개선시키기 위해 전신진동 자극 훈련을 활용할 것을 제안하는 바이다.

References

- 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. *Journal of Rehabilitation Medicine*.

- 2006;38(5):302-308.
- Ali MS. Impact of core stability education on postural control in children with spastic cerebral palsy. *Bulletin of Faculty of Physical Therapy*. 2019;24(2):85-89.
- Baxter P, Morris C, Rosenbaum P, et al. The definition and classification of cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 2007;49(s109):1-44.
- Bleyenheuft Y, Gordon AM. Precision grip control, sensory impairments and their interactions in children with hemiplegic cerebral palsy: A systematic review. *Research In Developmental Disabilities*. 2013;34(9):3014-3028.
- Bloem B, Allum J, Carpenter M, et al. Is lower leg proprioception essential for triggering human automatic postural responses? *Experimental Brain Research*. 2000;130(3):375-391.
- Brakel WHV, Khawas IB, Gurung KS, et al. Intra-and inter-tester reliability of sensibility testing in leprosy. *International Journal of Leprosy and Other Mycobacterial Diseases*. 1996:287-298.
- Brun C, Traverse É, Granger É, et al. Somatosensory deficits and neural correlates in cerebral palsy: A scoping review. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 2021;63(12):1382-1393.
- Burgess PR, Wei JY, Clark FJ. Signaling of kinesthetic information by peripheral sensory receptors. *Annual Review of Neuroscience*. 1992;5:171-188.
- Damiano DL, Alter KE, Chambers H. New clinical and research trends in lower extremity management for ambulatory children with cerebral palsy. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics*. 2009;20(3):469-491.
- Donker SF, Ledebt A, Roerdink M, et al. Children with cerebral palsy exhibit greater and more regular postural sway than typically developing children. *Experimental Brain Research*. 2008;184(3):363-370.
- Duquette SA, Guiliano AM, Stamer DJ. Whole body vibration and cerebral palsy: A systematic review. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*. 2015;59(3):245.
- Franki I, Desloovere K, De Cat J, et al. The evidence-base for basic physical therapy techniques targeting lower limb function in children with cerebral palsy—a systematic review using the ICF as a conceptual framework. *Journal of Rehabilitation Medicine*. 2012;44(5):385-395.
- Goble DJ, Hurvitz EA, Brown SH. Deficits in the ability to use proprioceptive feedback in children with hemiplegic cerebral palsy. *International Journal of Rehabilitation Research*. 2009;32(3):267-9.
- Jung JH, Kim SK. The Effects of interactive metronome on bilateral coordination, balance, and upper extremity function for children with hemiplegic cerebral palsy : single-subject research. *The Journal of Korean Society of Occupational Therapy*. 2013;21(2):37-48.
- Katusic A, Alimovic S, Mejaski-Bosnjak V. The effect of vibration therapy on spasticity and motor function in children with cerebral palsy: A randomized controlled trial. *NeuroRehabilitation*. 2013;32(1):1-8.
- Ko M, Doo J, Kim J, Jeon H. Effect of whole body vibration training on gait function and activities of daily living in children with cerebral palsy. *International Journal of Therapy And Rehabilitation*. 2015;22(7):321-328.
- Ko MS. Effect of whole body vibration on joint position sense, cutaneous sensation and functional performance in spastic diplegic cerebral palsy. Yonsei University. Dissertation of Master's Degree. 2016.
- Kurz MJ, Heinrichs-Graham E, Becker KM, et al. The magnitude of the somatosensory cortical activity is related to the mobility and strength impairments seen in children with cerebral palsy. *Journal of Neurophysiology*. 2015;113(9):3143-3150.
- Lebedev MA, Poliakov AV. Analysis of the interference electromyogram of human soleus muscle after exposure to vibration. *Neirofiziolgiia*. 1991;23(1):

- 57-65.
- Lee W, Lee H, Park S, Yoo J. Effects of whole body vibration training on lower limb muscle thickness and gross motor function in children with spastic cerebral palsy. *Journal of the Korean Society of Physical Medicine*. 2019;14(4):195-201.
- McLaughlin, J. F., et al. Lower extremity sensory function in children with cerebral palsy. *Journal of Pediatric Rehabilitation Medicine*. 2005;8:45-52.
- Mildren RL, Bent LR. Vibrotactile stimulation of fast-adapting cutaneous afferents from the foot modulates proprioception at the ankle joint. *Journal of Applied Physiology*. 2016;120(8):855-864.
- Radovanovic S, Korotkov A, Ljubisavljevic M, et al. Comparison of brain activity during different types of proprioceptive inputs: A positron emission tomography study. *Experimental Brain Research*. 2002;143(3):276-285.
- Rauch F. Vibration therapy. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 2009;51:166-168.
- Richards CL, Malouin F. Cerebral palsy: Definition, assessment and rehabilitation. *Handbook of Clinical Neurology*. 2013;111:183-95.
- Riquelme I, Padrón I, Cifre I, et al. Differences in somatosensory processing due to dominant hemispheric motor impairment in cerebral palsy. *BMC Neuroscience*. 2014;15(1):1-9.
- 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.
- 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.
- Sayenko DG, Masani K, Alizadeh-Meghbrazi M, et al. Acute effects of whole body vibration during passive standing on soleus H-reflex in subjects with and without spinal cord injury. *Neuroscience Letters*. 2010;482(1):66-70.
- Seo HJ, Kim JH. Analysis of muscle activation related to postural stability according to different frequency of whole body vibration during quiet standing. *The Journal of Korean Society of Physical Therapy*. 2013;25(5):316-321.
- Shin JW. The effect of neck and trunk stabilization exercise on motor skills and balance and visual perception of children with cerebral palsy. Daegu University. Dissertation of Doctorate Degree. 2016.
- Tecklin, JS. *Pediatric Physical Therapy*, 5rd ed, translation. 2015:236-237.
- Unger M, Jelsma J, Stark C. Effect of a trunk-targeted intervention using vibration on posture and gait in children with spastic type cerebral palsy: A randomized control trial. *Developmental Neurorehabilitation*. 2013;16(2):79-88.
- van Brakel WH, Khawas IB, Gurung KS, et al. Intl-a-and inter-tester reliability of sensibility testing in leprosy. *International Journal of Leprosy and Other Mycobacterial Diseases*. 1996;64(3):287-298.
- van Roon D, Steenbergen B, Meulenbroek RG. Trunk use and co-contraction in cerebral palsy as regulatory mechanisms for accuracy control. *Neuropsychologia*. 2005;43(4):497-508.
- Wingert JR, Burton H, Sinclair RJ, et al. Tactile sensory abilities in cerebral palsy: Deficits in roughness and object discrimination. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 2008;50(11):832-838.