

Original Article

Open Access

발가락 벌림 교정기가 청소년기 경직형 양하지 뇌성마비의 보행에 미치는 영향

장정재 · 정선혜 · 김명중 · 송선해 · 이동건 · 이승후 · 장나영 · 최지원 · 하선영 · 하신호 · 홍성균 · 이규창[†]
경남대학교 대학원 물리치료과, ¹경남대학교 물리치료학과

The Effects of Toe Wedges on the Spatiotemporal Gait Parameters of Adolescents with Spastic Diplegic Cerebral Palsy

Jung-Jae Jang · Sun-Hye Jung · Myung-Jong Kim · Sun-Hae Song · Dong-Geon Lee · Seung-Hoo Lee · Na-Young Jang · Ji-Won Choi · Sun-Young Ha · Shin-Ho Ha · Soung-Kyun Hong · Gyu-Chang Lee[†]

Department of Physical Therapy, Graduate School of Kyungnam University

¹Department of Physical Therapy, Kyungnam University

Received: January 10, 2019 / Revised: March 19, 2019 / Accepted: March 20, 2019

© 2019 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 the present study was to investigate the effects of toe wedges on the gait ability of adolescents with spastic diplegic cerebral palsy.

Methods: Six adolescents with spastic diplegic cerebral palsy participated in this study. During the participants walked with and without toe wedges, the gait ability was analyzed using the electronic walkway system. Gait parameters, including velocity, cadence, step length, stride length, single support time, and double support time, were collected and analyzed.

Results: When the participants walked with toe wedges, there were significant improvements in gait velocity, cadence, and double support time compared to those without toe wedges ($p < 0.05$). However, there were no significant differences in step length, stride length, and single support time.

Conclusion: Toe wedges may have a positive effect on the gait ability of adolescents with spastic diplegic cerebral palsy. However, it is necessary to conduct high-quality studies to identify the effects of toe wedges.

Key Words: Adolescent, Spastic diplegic cerebral palsy, Toe wedge, Gait

[†]Corresponding Author : Gyu-Chang Lee (leegc76@kyungnam.ac.kr)

I. 서론

뇌성마비(cerebral palsy)는 태아기 또는 유아기 단계에 발생하게 된 뇌의 병변이나 손상으로 인하여 운동과 자세의 문제가 나타나게 되는 비진행성 증후군으로 정의된다(Bax et al., 2005). 그 원인으로는 출생 전 또는 후의 감염, 폐혈증, 출생 시의 질식, 핵황달(kernicterus), 조산, 외상 등이 있으나 한 가지 보다는 여러 가지 원인들이 복합되어 발생한다고 보고되고 있다(Nelson, 2003). 뇌성마비의 운동 기능이상은 뇌손상의 크기, 위치와 같은 요인으로부터 다르게 나타날 수 있고, 주로 비정상적인 근 긴장도, 근력 약화, 선택적 운동 조절의 결손, 균형과 협응력의 감소 등의 형태로 나타나게 된다(Papavasiliou, 2009). 뇌성마비 유병률은 지난 몇 년 동안 선진국에서 출생 1,000명 당 2.11명으로 증가하는 추세를 보였고(Oskoui et al., 2013), 국내 뇌성마비 유병률은 5세 아동 기준으로 1,000명 당 2.6명이라고 보고되었다(Park, 2011). 이는 조산아의 생존율 향상과 산모의 고령화로 보조 생식 기술에 의한 다태아 출산이 증가하기 때문이라고 한다(Chung et al., 2013).

경직형 양하지뇌성마비는 다양한 형태의 비정상적인 보행 패턴을 보이게 되고, 주로 하지 근육의 긴장도가 비정상적으로 증가하는 것과 함께 골반의 전방 경사, 엉덩 관절의 굽힘, 모음, 안쪽 돌림, 무릎 관절의 굽힘, 족부의 까치발 변형과 함께 나타난다(Couillandre et al., 2002; Futagi et al., 1995). 특히, 발과 발목에서의 근 긴장도 증가로 인해 나타나는 긴장성 발가락 굽힘 반사(tonic toe flexion reflex)의 경우 지면에 대한 적절하지 못한 피부 감각 또는 고유수용성 감각 자극을 발생시켜 잘못된 감각이나 불편감을 만들며, 발가락 굽힘과 내반(inversion), 발바닥 만곡(curvature)을 증가시켜 비정상적인 보행 패턴을 촉진하게 한다(Effgen, 1982). 이러한 하지의 문제나 발가락의 굽힘 반사 반응으로 인해 발바닥이 지면에 닿는 면적이 줄어들고 그로 인하여 디딤기(stance phase)시 단하지 지지(one leg stance)의 불안정성이 증가하게

되어, 반대 측 다리의 보장(step length)이 줄어들 수 있으며, 발바닥 측면 경계(lateral border)에서부터 발허리뼈(metatarsal bone)를 통과하여 엄지발가락으로 이어지는 발바닥과 지면에서의 체중 이동이 적절하게 이루어 지지 않게 된다. 또한 흔들기(swing phase) 다리의 발가락 배측굴곡(dorsiflexion)이 방해받게 되며 충분히 발을 내딛는데 어려움이 발생한다(Kapandji, 1970). 그리고 이러한 비정상적인 보행 패턴은 결국 보장(step length) 및 활보장(stride length)의 길이가 줄어들고 그로 인해 보행 속도(velocity)가 감소하게 되는 것으로 연결된다.

이러한 뇌성마비의 증상을 개선하기 위해 전통적으로 신경발달학적 접근 방법이 사용되어 왔으며(Weindling et al., 2007), 최근에는 과제 지향적 치료 등의 접근이 효과적이라고 보고되고 있다(Novak, 2014). 또한, 경직형 양하지뇌성마비의 족부 변형의 진행을 막고, 보행의 동적 효율을 향상시키는 방법으로 발목 보조기(ankle-foot orthoses)가 사용되기도 한다(White et al., 2002). 발목 보조기는 근 약화, 경직, 하지의 구조적 안정성을 개선하기 위해 사용되어 왔는데, 이를 통해 자세 조절, 자세 안정성, 보행의 질을 향상시킬 수 있다고 보고되었다(Neto et al., 2012). 그러나, 까치발 보행(equinus) 및 가쪽들린발증(planovalgus) 기형을 가진 뇌성마비를 대상으로 발목 보조기 효율성을 보행 분석한 결과, 견고한 발목 보조기가 무릎 위치를 크게 변화시키지 않는다고 하였다(Abel et al., 1998). 또한 다른 연구에서는 발목 보조기가 안짱걸음을 증가시켜 보행의 효율을 감소시킨다고 하였고(Danino et al., 2015), 옹크려 걷기를 하는 뇌성마비가 발목 보조기를 사용하면 비정상적인 자세를 교정하는 대신 오히려 균형 능력에는 부정적인 영향을 받게 된다고도 하였다(Wesdock & Edge, 2003). 이렇듯 발목 보조기의 부작용 또는 한계점에 대해 종종 보고되고 있다. 이러한 발목 보조기의 단점을 보완하고 경직형 양하지뇌성마비의 비정상적인 보행 패턴을 개선하여 보행 능력을 향상시키기 위한 방법에 대한 고민이 필요할 것이다.

발가락 벌림 교정기(toe wedge)는 발가락 사이에 간단하게 착용하는 방식의 교정 장치로, 일반적으로 발가락의 비정상적인 정렬을 바로 잡아, 균형 능력을 향상시키고 보행 패턴을 개선시키기 위한 목적으로 사용되어지며, 이전 연구에서 발가락 벌림 교정기가 편마비 환자의 보행 속도와 분당 보폭수를 다소 증가시킨다고 하였고(de Saca, 1994), 건강한 일반인들을 대상으로 한 연구에서도 발가락 벌림 교정기는 앞정강근(tibialis anterior)의 활동을 향상시켜 발목 안정성을 개선한다고 하였다(Lee et al., 2013). 발가락 벌림 교정기는 저렴하고, 쉽게 구입할 수 있는 보조 장치로, 그 효과에 대해 몇몇 연구를 통해 보고되었지만, 발가락 벌림 교정기가 경직형 양하지 뇌성마비 청소년의 보행에 미치는 영향에 대해 알아본 연구는 없는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 발가락 벌림 교정기가 경직형 양하지 뇌성마비 청소년의 보행에 어떠한 영향을 미치는지 알아보려고 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상자

본 연구에서는 12~18세의 경직형 양하지 뇌성마비로 진단받은 청소년을 대상으로 하였다. 연구 대상자 선정 기준은 1) 청소년기본법상 청소년(9세 이상 24세

이하) 경직형 양하지 뇌성마비, 2) 보조기 없이 독립적인 보행이 가능한 Gross Motor Function Classification System (GMFCS) 레벨 I 또는 II, 3) 대부분의 사물 조작이 가능한 Manual Ability Classification System (MACS) 레벨 I 또는 II, 4) 검사자의 지시를 따를 수 있을 정도의 인지 기능을 가진 아동으로 하였다.

이러한 기준에 따라 6명이 연구 대상으로 최종 선별되었으며, 성별은 남자가 4명, 여자가 2명이고, 평균 나이는 13세(13.67±2.06), 몸무게는 41.5kg(41.5±11.52), 키는 151.67cm (151.67±11.21)이었다.

최종 선별된 뇌성마비 청소년과 보호자에게 연구 목적과 방법에 대한 충분한 설명을 한 후, 연구 동의서에 자발적인 서면 동의를 받았고, 본 연구는 경남대학교 연구윤리위원회의 승인 후 시행되었다.

2. 연구 설계 및 실험 방법

본 연구는 교차 설계(crossover design)로, 발가락 벌림 교정기 착용한 상태와 착용하지 않은 상태에서의 보행 능력을 분석하여 비교하였다. 대상자들은 먼저 약 8.3m 가량의 보행 매트에서 맨발로 3회 보행한 후 같은 보행 매트 위에서 발가락 벌림 교정기를 착용한 상태에서 3회 보행하였다. 그리고 각 시도 간에는 2분의 휴식시간을 주어 근 피로에 대한 영향을 최소화였다. 발가락 벌림 교정기를 착용하지 않은 상태와 착용한 상태의 모습은 Fig. 1과 같다.



Fig. 1. Toe wedge.

발가락 벌림 교정기(ponge for fixing toe, Fuzhou Home Broad Arts & Crafts Co.,Ltd., CN, China)는 발가락 사이에 간단하게 착용하는 방식의 교정 장치로 발가락 아래 부분에서 착용하여, 발가락 사이의 간격을 일정하게 확보하여, 발가락 끝 쪽으로 집중되는 체중을 발가락을 벌려줌으로써, 선 상태에서 체중이 고루 분포할 수 있도록 도와줄 수 있는 장치이다.

보행 분석은 보행 매트(GaitRite, CIR system Inc., USA)를 사용하였다. GaitRite 시스템은 길이 8.3m이고 폭 0.89m인 전자식 보행 매트로, 직경의 센서가 1.27cm 간격으로 위치하며, 센서 패드는 카펫으로 덮혀 있고 발이 매트에 닿은 압박에 의해 활성화되어 시공간적 보행 변수가 측정 및 수집된다. 센서에 의해 활성화된 정보들은 직렬 인터페이스 케이블에 의하여 컴퓨터로 보내어지고, 모든 정보들은 GaitRite Gold version 3.0 프로그램으로 자동 처리된다. 본 연구에서 수집된 변수는 보행 속도(velocity), 분속수(cadence), 보장(step length), 활보장(stride length), 단하지 지지시간(single support time), 양하지 지지시간(double support time) 등 시간적, 공간적 변수이다(Van et al., 2004).

3. 자료 분석

본 연구를 통해 수집한 자료의 통계 분석은 SPSS

18.0version (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS Inc., USA)를 이용하였다. 발가락 벌림 교정기를 착용한 상태와 착용하지 않은 상태에서의 시간적 및 공간적 보행 변수를 비교하기 위하여 wilcoxon signed rank test를 사용하였다. 통계적 유의수준은 0.05 미만으로 하였다.

III. 결과

발가락 벌림 교정기를 착용하지 않은 상태와 착용한 상태에서의 시간적 및 공간적 보행 변수를 비교한 결과는 Table 1과 같다. 보행 속도는 착용하지 않았을 때 70.25cm/s에 비해 착용했을 때 87.0cm/s로 유의하게 향상되었고, 분속수 또한 착용하지 않았을 때 103.67회에 비해 착용했을 때 119.17회로 유의하게 증가하였다($p<0.05$). 양하지 지지 시간의 경우 왼쪽 발은 착용하지 않았을 때 0.38초에서 착용했을 때 0.3초로, 오른쪽 발은 착용하지 않았을 때 0.37초에서 착용했을 때 0.3초로 유의하게 감소하였다($p<0.05$). 하지만, 보장, 활보장 거리, 단하지 지지 시간에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다($p>0.05$).

Table 1. comparison of gait parameters between conditions with- and without toe wedge

Variables	Without toe wedge	With toe wedge	P
Velocity (cm/s)	70.25±15.52	87.00±11.12	0.02*
Cadence (step/min)	103.67±21.13	119.17±15.86	0.04*
Step length Lt (cm)	43.02±12.56	45.40±11.85	0.19
Step length Rt (cm)	39.30±7.76	43.30±7.21	0.05
Stride length Lt (cm)	82.97±18.02	88.85±15.3	0.12
Stride length Rt (cm)	83.08±17.79	89.39±15.45	0.08
Single support time Lt (s)	0.40±0.07	0.36±0.05	0.11
Single support time Rt (s)	0.39±0.06	0.35±0.06	0.12
Double support time Lt (s)	0.38±0.08	0.30±0.05	0.02*
Double support time Rt (s)	0.37±0.07	0.30±0.05	0.04*

* $p<0.05$, Mean±SD

IV. 고 찰

본 연구에서는 12~18세의 독립 보행이 가능한 경직형 양하지뇌성마비 청소년을 대상으로 발가락 벌림 교정기가 보행에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 그 결과, 발가락 벌림 교정기 착용하지 않은 상태에 비해 착용한 상태에서 보행 속도와 분속수는 유의하게 증가하였고, 양하지 지지 시간은 유의하게 감소되었다. 이전 연구에서도 뇌졸중으로 인한 편마비 장애인에게 발가락 벌림 교정기를 착용하게 하여 보행 분석을 한 결과, 보행 속도와 분속수가 유의하게 증가하였다고 보고하였다(Chiong, 2013). 발가락 벌림 교정기를 착용할 경우, 발허리발가락 관절(metatarsophalangeal joints)을 중립위 또는 약간 신전 위로 위치시킴으로써 발가락 사이 관절(interphalangeal joints)들이 과도하게 굴곡이 되는 것을 방지하는 효과가 있다(Iwata, 2003). 이를 통해 보행의 디딤기 시 족부에 기계적 지지와 안정성을 제공하여, 디딤기 하지의 발바닥에서 체중 이동이 원활하게 일어나게 되고, 이로 인해 반대편 흔들기의 다리 움직임은 향상될 수 있는 것이다. 또한 발바닥이 충분히 표면과 닿게 되면서 피부 감각 및 고유수용성 감각이 올바르게 입력됨으로 인해 과도한 족부 긴장이나 발가락 굽힘으로 인한 통증 및 불편감이 해소되어, 지면에서의 체중 이동이 부드럽게 일어날 수도 있다. 본 연구에서도 경직형 양하지뇌성마비 청소년들에게 발가락 벌림 교정기를 착용하게 하였을 때 보행 속도, 분속수, 양하지 지지 시간에서 유의한 향상이 있었던 것을 이렇게 설명할 수 있을 것이다. 그러나 보장과 활보장 및 단하지 지지 시간 또한 감소되었으나 통계적으로 유의한 차이가 나타나지는 않았다. 사실 발바닥 표면에 적용되는 부적절한 촉각 자극 및 고유수용성감각 자극이 과도한 발가락 굴곡 반사(tonic toe flexion reflex)를 일으킬 수 있고, 자극이 발의 내재근과 발가락 굴곡근의 활성화에 부적절한 타이밍을 가져올 수 있다(de Saca et al., 1994). 이러한 부분이 보행의 모든 변수가 유의하게 향상되지 못한 배경 중 하나로 설명될 수 있지만, 통계적으로 유의하지 않았

지만 모든 변수에서 발가락 교정기를 착용하지 않은 상태보다 착용한 상태에서 향상되었음을 알 수 있다. 따라서, 발가락 교정기는 뇌성마비 청소년의 전반적인 보행 능력 향상에 긍정적인 영향을 미칠 수 있을 것이다.

본 연구에서는 대상자에게 발가락 교정기를 착용한 상태와 착용하지 않은 상태에서 모두 신발을 신지 않고, 맨발로 보행을 하게 하였다. 맨발 상태에서의 보행은 발바닥 표면에 작용하는 부적절한 자극을 증가시켜서 발가락 벌림 교정기의 효과를 줄였을 가능성이 있다. de Saca 등(1994)의 연구에서도 발가락 벌림 교정기를 사용할 때, 신발을 착용한 후 보행하는 것이 발의 불필요한 자극을 줄이며, 보행 개선에 더욱 더 효과적일 것이라고 제안하였다. 과도한 발가락 굴곡 반사는 보행 시 체중 이동에서 발바닥 바깥쪽에서 중족골 머리를 지나 엄지 발가락으로 무게 이동이 일어나지 못하게 하여 디딤기 시간 및 발디딤 거리에 부정적인 영향을 미칠 수 있다고 하였다(de Saca et al., 1994). 그리고 발가락 교정기를 착용한 상태에서 신발을 신게 되면 신발로 인해 발가락 교정기가 발가락을 안정되게 감싸게 되어 불필요한 자극들이 다소 줄어들 수도 있을 것이다. 하지만, 발가락 교정기의 착용과 함께 맨발과 신발을 신은 각 상태에서의 보행 변수를 직접 실험을 통해 비교하지 못하였기 때문에, 본 연구의 결과만을 가지고 이에 대해 제시하기에는 무리가 있다. 따라서, 추후 연구를 통해 맨발과 신발을 신은 상태가 발가락 교정기 사용에 어떤 영향을 미치는지 알아볼 필요가 있을 것이다.

본 연구는 몇 가지 제한점이 있다. 우선 대상자들의 수가 6명으로 너무 적었고, 또한 대상자들이 독립 보행이 가능한 비교적 경미한 경직형 양하지뇌성마비 청소년들로만 구성되어 있었다. 또한 발가락 벌림 교정기의 즉각적인 효과는 이번 연구를 통해 확인해 볼 수 있었지만 장기적인 효과에 대해서는 확인하지 못하였다. 따라서, 향후에는 이런 제한점을 보완한 질 높은 연구가 지속적으로 필요할 것이다.

V. 결론

본 연구에서는 경직형 양하지뇌성마비 청소년 6명을 대상으로 발가락 벌림 교정기를 착용한 상태에서의 보행을 분석한 결과, 보행 속도, 분속수, 그리고 양하지 지지 시간이 유의하게 향상된 결과를 확인할 수 있었다. 이 결과를 통해, 발가락 벌림 교정기는 경직형 양하지뇌성마비 청소년의 보행 능력 향상을 위해 사용될 수 있는 도구로서의 잠재력을 확인할 수 있었다.

References

- Abel MF, Juhl GA, Vaughan CL, et al. Gait assessment of fixed ankle-foot orthoses in children with spastic diplegia. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 1998;79(2):126-133.
- Bax M, Goldstein M, Rosenbaum P, et al. Proposed definition and classification of cerebral palsy. *Developmental medicine and child neurology*. 2005;47(8):571-576.
- Chiong Y, Tay SS, Lim PA, et al. The effects of toe spreader in people with overactive toe flexors post stroke: a randomized controlled pilot study. *Clinical rehabilitation*. 2013;27(1):90-95.
- Chung JY, Wang GC, Bang MS, et al. Introduction to cerebral palsy. Seoul. Gunja Publishing co. 2013.
- Couillandre A, Maton B, Breniere Y. Voluntary toe-walking gait initiation: Electromyographical and biomechanical aspects. *Experimental Brain Research*. 2002; 47(3):313-321.
- Danino B, Erel S, Kfir M, et al. Influence of orthosis on the foot progression angle in children with spastic cerebral palsy. *Gait & posture*. 2015;42(4):518-522.
- de Saca LR, Catlin PA, Segal RL. Immediate effects of the toe spreader on the tonic toe flexion reflex. *Physical Therapy*. 1994;74(6):561-570.
- Effgen SK. Integration of the plantar grasp reflex as an indicator of ambulation potential in developmentally disabled infants. *Physical Therapy*. 1982;62(4):433-435.
- Futagi Y, Otani K, Imai K. Asymmetry in plantar grasp response during infancy. *Pediatric Neurology*. 1995; 12(1):54-57.
- Iwata M, Kondo I, Sato Y, et al. An ankle-foot orthosis with inhibitor bar: effect on hemiplegic gait. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2003; 84(6):924-927.
- Kapandji C. The physiology of the joints, 2nd ed. London. Churchill Livingstone. 1970.
- Lee KS, Ko E, Lee SY. Immediate effect of the toe spreader on tibialis anterior and peroneus longus muscle activities: a pilot study. *Journal of Physical Therapy Science*. 2013;25(3):293-295.
- Nelson KB. Can we prevent cerebral palsy? *The New England Journal of Medicine*. 2003;349(18):1765-1769.
- Neto HP, Grecco LAC, Galli M, et al. Comparison of articulated and rigid ankle-foot orthoses in children with cerebral palsy: a systematic review. *Pediatric Physical Therapy*. 2012;24(4):308-312.
- Novak I. Evidence-based diagnosis, health care, and rehabilitation for children with cerebral palsy. *Journal of Child Neurology*. 2014;29(8):1141-1156.
- Oskoui M, Coutinho F, Dykeman J, et al. An update on the prevalence of cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 2013;55(6):509-519.
- Papavasiliou AS. Management of motor problems in cerebral palsy: a critical update for the clinician. *European Journal of Paediatric Neurology*. 2009;13(5):387-396.
- Park EY. Utility of function classification system in children with cerebral palsy. *Journal of the Korea Academia/Industrial Cooperation Society*. 2011; 12(12):5709-5714.
- Van U, Cornelis JT, Marcus PB. Test-retest reliability of temporal and spatial gait characteristics measured

- with an instrumented walkway system. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2004;5:13.
- Weindling AM, Cunningham CC, Glenn SM, et al. Additional therapy for young children with spastic cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Health Technol Assess*. 2007;11(16)
- Wesdock KA, Edge AM. Effects of wedged shoes and ankle-foot orthoses on standing balance and knee extension in children with cerebral palsy who crouch. *Pediatric Physical Therapy*. 2003;15(4):221-231.
- White H, Jenkins J, Neace WP, et al. Clinically prescribed orthoses demonstrate an increase in velocity of gait in children with cerebral palsy: a retrospective study. *Developmental medicine and child neurology*. 2002;44(4):227-232.