Toe Spreader가 경직성 뇌성마비 아동의 동적 족압 특성에 미치는 영향

The Journal Korean Society of Physical Therapy

■ 신화경, 태기식[1]
■ 대구가톨릭대학교 의료과학대학 물리치료학과, [1]건양대학교 의공학과

The Effect of Toe Spreader on Characteristics of Dynamic Foot Pressure in Children With Spastic Cerebral Palsy

Hwa-Kyung Shin, PT, PhD; Ki-Sik Tae, PhD[1]

Department of Physical Therapy, College of Medical Science, Catholic University of Daegu; [1]*Department of Biomedical Engineering, Konyang University*

Purpose: The purpose of this study was to determine whether there are any differences, with and without a toe spreader (TS), in dynamic foot pressure distribution in children with spastic diplegic cerebral palsy.

Methods: Dynamic foot pressure recording using the RSscan system were obtained during walking in 12 participants (male=7, female=5) with and without TS. Mean force was measured for four different plantar regions; great toe, forefoot, midfoot, hindfoot. Displacement of center of pressure (COP), velocity of COP displacement and stance time were also measured during gait.

Results: TS walking exhibited statistically significant decrease of mean force under great toe and forefoot ($p<0.05$), compared with a barefoot walking. Also, TS walking exhibited statistically significant increase of antero-posterior displacement of COP ($p>0.05$).

Conclusion: These findings indicate the potential clinical utility of toe spreader to correct dynamic foot pressure during stance phase in children with spastic diplegic cerebral palsy.

Keywords: Cerebral palsy, Dynamic foot pressure, Gait

논문접수일: 2009년 9월 27일
수정접수일: 2009년 10월 25일
게재승인일: 2009년 11월 8일
교신저자: 신화경, hkshin1@cu.ac.kr

Ⅰ. 서론

경직성 양하지 뇌성마비 환아는 미성숙한 뇌의 비진행성 병변으로, 경직성 및 근육 약화, 근육 불균형, 관절 변형 등으로 인하여 다양한 형태의 비정상적인 보행 양상을 보이게 된다.[1] 보행에 장애를 일으키는 주요 원인 중의 하나는 비정상적인 하지 근긴장도의 증가이다.[1,2] 이는 골반의 전방 경사, 엉덩 관절의 굽힘·모음·안쪽 돌림, 무릎관절의 굽힘, 족부의 첨족 변형을 일으켜 비정상적인 보행패턴을 유발하게 된다.[1,2] 보행 장애를 유발하는 다른 주요 요인에는 지속적인 발바닥 파악 반사(plantar grasp reflex)가 있다. 이는 피부 또는 고유수용성 감각 자극에 의하여 발가락 굽힘과 내반(inversion), 과도한 만곡(curvature)이 특징이다.[3] 발바닥 파악 반사는 출생 후 4~9개월에 걸쳐 나타나며, 만약 이 반사가 출생 후 2세 이후까지 지속된다면 반사 성숙이 지연되고, 반대측 전두엽 또는 피질 척수로의 손상을 의미할 수 있다.[1,4] 과도한 발바닥 파악 반사는 입각기(stance phase) 동안 전족부에 압력이 집중되는 비정상적인 족저압 분포와 이동으로 인해 족부의 변형과 이로 인한 통증이 유발될 수 있다.[5]

현재 경직성 뇌성마비 아동의 족부 변형을 교정하기 위하여 화학적 신경 박리(chmical neurolysis with botulinum toxin, phenol), 연속적 석고 고정(serial casting), 정형외과적 수술

(Achilles tenon tenotomy, gastrocnemius recession), 전기치료, 이완을 위한 운동치료, 보조기 등 다양한 접근법들이 시도되고 있다.[6-8] 특히 근긴장도 감소를 위한 족부 보조기 중 toe spreader (TS)는 입각기 동안 전족부의 비정상적인 족압 분포를 교정하고, 추가적인 역학적 지지와 안정성을 제공함으로써 보행 패턴을 개선시킬 수 있다는 가정하에 임상에서 적용되고 있다.[9,10] 그러나 생체역학적인 측면에서 TS의 효과가 객관적으로 증명된 연구는 드물다.

족부는 신체를 지지하는 기초가 되는 구조로써 족부의 이상은 양하지 및 체간의 균형 유지에 영향을 미치게 되어 전반적인 보행 패턴에 영향을 미치게 된다. 따라서 뇌성마비 아동의 재활 및 치료계획을 수립할 때에는 족부의 이상을 평가할 수 있는 객관적이며 신뢰성이 높은 검사법이 필요하게 된다. 뇌성마비 아동의 족부 평가를 위해 주로 발목의 운동학(ankle kinematics)적 측정, 발 각도(foot floor angle) 측정, 관절운동범위와 강직(spasticity)의 임상적 측정, 비디오 관찰법, 족압(foot pressure) 측정 시스템 등이 사용되고 있다.[2,13] 이중 발 접촉(foot contact) 패턴의 평가를 위한 족압 측정 시스템은 비교적 객관적이며, 설치 비용이 저렴하다는 장점이 있다.[11] 현재 족압 측정은 뇌성마비뿐만 아니라, 당뇨병, 류마티스 관절염, 족부 변형 환자의 위해 주로 족압 특성을 분석하기 위해 널리 사용되고 있다.[12]

최근 뇌성마비 아동의 하지에 대한 다양한 치료적 효과를 검정하기 위하여 정적 족압 측정이 사용되었다. 그러나 정적 족압 측정은 기립 상태에서 평가되어지므로, 평상시의 보행 동안 발 위치를 반영할 수 없다는 단점이 있다.[13] 이에 본 연구는 압력 측정 시스템을 이용하여 독립적인 보행이 가능한 경직성 양하지 뇌성마비아의 동적 보행 시 TS 보조기 착용 전과 후의 족압 분포 및 족압 중심의 이동 경로를 평가하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 6~8세의 경직성 양하지 뇌성마비로 진단받은 20명의 아동을 대상으로 하였다. 연구대상자 선정 기준은 Modified Ashworth Scale이 2등급 이하이며, 보조기 없이 독립적인 보행이 가능하고, 기립이나 보행 시 발바닥 파악 반사가 나타나며, 발의 구축학적 변형이 없는 환자로 정하였다. 또한 검사자의 지시를 따를 수 있을 정도의 인지 수준으로 의학적으로 안정적인 건강상태이며, 이전에 TS를 착용한 적이 없는 아동을 대상자 선정 조건으로 정하였다. 이러한 기준에 합당한 12명(남 7명, 여 5명)을 연구 대상으로 정하였으며, 연구 대상자의 일반적 특성은 Table 1에 제시하였다. 모든 대상자와 보호자는 동의서를 읽고 서명하였다.

Table 1. Demographic data of subjects

Parameter	Demographics
Participants (N)	12
Mean age±SD (years)	7.31±2.10
Gender (male/female)	7/5
Weight (kg)	36.11±7.35
Height (cm)	146±12.65
Spasticity of plantar pressure (MAS)	0/5/4/3/0/0/

2. 실험방법

1) 실험과정

본 연구는 전-후 검사 설계(pretest-post test design)를 이용하여, 정적 기립과 동적 보행 상태에서 TS 착용 유무에 따른 족압을 측정하였다.

8 m의 보행거리(walkway) 가운데 압력측정시스템을 설치한 후, 압력 탐색자의 보정을 실시하고 검사를 시작하였다. 먼저 환아는 맨발로 편안하게 2초간 서 있게 한 상태의 정적 족압(static foot pressure)을 측정한 다음, 평소 편안하게 느끼는 보행 속도로 압력판 위를 직선으로 걷게 하여 보행 시 동적 족압(dynamic foot pressure)을 측정하였다.

다음에는 대상자의 발에 맞게 제작된 TS를 접착 테이프를 이용하여 양쪽 발등에 부착하였다. 맞춤 제작된 TS에 발이 적응하도록 하기 위해 대상자는 30분 동안 맨발로 자연스럽게 걸어다니도록 하였다. TS를 착용하지 않은 상태와 같은 방법으로 정적 기립과 동적 보행 동안 족압을 측정하였다. 발바닥의 각 부분이 지면과 접촉하는 시기에 측정되었고, 각 부위의 족압 측정 장치에 전달된 압력의 합이 전체발의 압력이 되었다. 총 3번 실시하여 평균값을 대표값으로 사용하였다.

2) 자료분석

족압은 RSscan Foot mat (RS Scan, Olen International, 벨기에)를 이용하여 측정하였다(Figure 1). 측정 시스템의 크기는 50×40 cm이며, 유효측정 범위는 33×49 cm이고, 1 cm^2당 4개의 센서가 부착되어 있다. 표본추출률(sampling rate)은 500 Hz이었다.

Figure 1. Foot pressure measurement system.

족압 분포 분석은 족압 데이터가 저장된 조정기를 컴퓨터에 연결한 후, RSscan 소프트웨어인 Dynamic Force 3D를 이용하여 분석하였다(Figure 2). 정상적인 발꿈치 닿기(heel contact)가 일어나지 않았다면 족문은 해당 환아의 전체 족문의 크기로 보정(calibration)하였다. 족압 분포는 무지부(great toe), 전족부(forefoot), 중족부(midfoot), 후족부(hindfoot)의 4 영역으로 구분한 다음입각기 시의 각 영역의 평균힘, 보행시 압력중심의 좌우 및 전후 이동거리, 압력 중심의 이동속도, 지면 접지시간(contact time) 등을 분석하였다.

통계분석은 SPSS 12.0을 사용하였다. TS를 착용하지 않을 때와 착용했을 때의 족압 측정 변수의 차이를 비교하기 위하여 Wilcoxon's signed rank test를 실시하였다. 통계적 유의수준은 0.05로 정하였다.

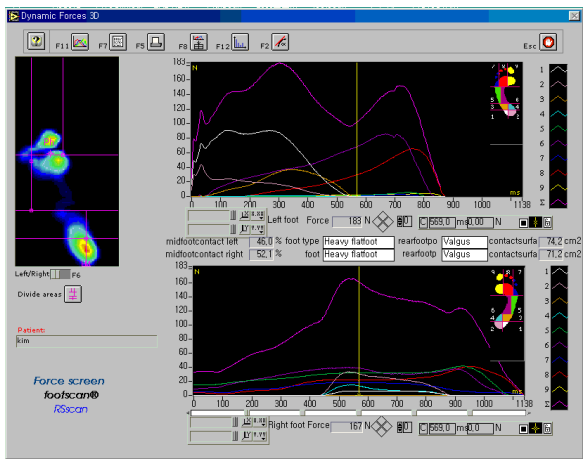

Figure 2. Dynamic foot pressure analysis.

III. 결과

1. 입각기 시 영역별 평균힘

발바닥을 무지, 전족부, 중족부, 후족부의 4 영역으로 구분하여 평균힘을 분석하였다. 수치상으로는 TS 착용 후 무지, 전족부, 중족부의 감소와 후족부의 증가가 나타났으나 무지와 전족부만이 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$)(Table 2).

2. 족압 중심의 이동거리(Displacement of COP)

TS를 착용한 후, 전후 이동거리는 통계적으로 유의하게 증가하였다($p<0.05$). 반면, 좌우 이동 거리는 통계적으로 유의한 차이가 나지는 않았다($p>0.05$)(Table 2).

3. 족압 중심의 이동 속도(Velocity of COP displacement)

TS를 착용한 후, 압력중심의 이동속도는 통계적으로 유의하게 증가하였다($p<0.05$)(Table 2).

4. 접촉시간(Stance time)

TS를 착용한 이후 접촉 시간은 감소하였으나, 통계적으로 유의한 차이가 나지는 않았다($p>0.05$)(Table 2).

Table 2. Difference of foot pressure variables between barefoot and toe spreader

	Barefoot	Toe spreader	p-value
Mean force (N)			
Great toe	19.62±13.69	7.76±8.48	0.01*
Forefoot	38.65±21.32	25.86±21.62	0.01*
Midfoot	5.18±5.84	2.25±3.54	0.30
Hindfoot	56.18±13.19	64.48±26.78	0.38
Displacement of COP (cm)			
Antero-posterior	6.68±0.36	10.51±5.75	0.04*
Medio-lateral	0.91±0.11	0.67±0.29	0.78
Velocity of COP (cm/sec)	6.97±1.79	10.26±2.95	0.05*
Stance time (sec)	1.00±0.20	0.73±0.34	0.69

*p<0.05
Mean±SD
COP: Center of pressure

IV. 고찰

뇌성마비는 족부의 구조적 변형, 근육의 부조화, 경직성 등으로 인하여 비정상적인 운동 패턴이 나타나게 된다. 이러한 점에서 족압 측정 시스템을 이용한 발의 접촉 양상, 족압 분포, 압력중심의 이동 경로와 같은 변수들은 뇌성마비 아동에서 나타날 수 있는 족부의 문제점을 보다 정확하게 파악하고 치료 계획을 수립하는데 중요한 정보를 제공할 수 있다.[12,14-16]

본 연구는 6~8세의 독립 보행이 가능한 경직성 양하지 뇌성마비 아동을 대상으로 TS가 입각기 동안 발에 추가적인 역

학적 지지와 안정성을 제공할 수 있다는 가설을 바탕으로 무지부, 전족부, 중족부, 후족부의 각 영역에서 수직 족저 압력(vertical plantar pressure)의 평균힘, 족저압 중심의 이동경도, 족저압 중심의 이동 속도, 접촉시간을 비교하였다. 정상 소아에서 보행 시 가장 높은 족저압을 나타내는 영역은 연령에 따라 내측 종골두 또는 외측 종골두라고 보고되며 이에 대해서는 아직까지 논쟁의 여지가 있다.[16] 그러나, 일반적으로 발바닥 파악반사와 발바닥 굽힘근의 긴장도가 증가되어 있는 경직성 양하지 뇌성마비 아동의 경우 상대적으로 무지부와 전족부의 족압이 증가되어 있고, 후족부의 족압은 상대적으로 감소되는 경향이 있는 것으로 보고되고 있다.[17,18] 이러한 현상은 결국 서 있는 동안 경직성 양하지 뇌성마비 아동의 하지 및 체간의 균형유지를 방해하게 된다.[19] 최근 Park 등[17]은 6세 이하의 경직성 뇌성마비 아동의 보행 시 각 부위별 압력-시간 적분값인 비례추진력(relative impulse: %)을 조사한 결과, 정상 아동에 비해 무지부와 내측 중족부가 유의하게 증가하였고, 후족부는 유의하게 감소하였으며, 가장 높은 비례추진력도 뇌성마비 아동에서는 무지부로 나타나 정상 대조군과는 다른 분포를 보였다. 반면, Park 등[20]은 7세 이상의 경직성 양하지 뇌성마비 아동을 대상으로 족저압을 측정한 결과 비례추진력은 무지부, 내측 전족부, 내측 중족부에서 정상 아동보다 유의하게 높았으며 후족부에서는 유의하게 낮았고, 가장 높은 비례추진력은 내측 전족부로 나타났다.

본 연구에서 경직성 양하지 뇌성마비 아동에게 TS를 착용시킨 결과 무지부와 전족부의 평균힘은 통계적으로 유의하게 감소하였다. 후족부의 평균힘 또한 증가하였으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 이는 TS가 무지와 전족부에 집중된 압력을 감소시키기에는 효과적이나 후족부의 압력까지 증가시키기에는 부족하였음을 의미한다. 만약 발바닥 굽힘근의 경직을 감소시킬 수 있는 하지 보조기(spasticity reduced AFO)를 TS와 함께 착용했다면 후족부로의 압력 증가에 더욱 효과적이었으리라고 본다.[21]

입각기 동안 압력 중심의 이동에서 전후 이동 거리는 족압중심의 전방으로의 진행 정도를 반영하고, 좌우 이동 거리는 내외측의 불안정성을 대변할 수 있다.[20] TS 착용 후 보행 시 전후 이동 거리는 유의하게 증가되었다. 뇌성마비 아동에서 전후 이동거리의 증가는 보행 시 입각기 초기에 발뒤꿈치 닿기(heel contact)의 증가로 인한 것이라고 생각되며, 이는 입각기 동안 압력 분포가 발가락과 전족부에서 감소하고 후족부에서 증가된 것으로써 확인할 수 있다. 또한, TS 착용 후 발이 땅에 닿는 접지 시간은 감소하였으나 통계적으로 유의한 차이는 나지 않았다. 또한 족압 중심의 이동 속도는 유의하게 증가하였다. 따라서 TS는 경직성 양하지 뇌성마비 아동의 비정상적인 족압 특성을 개선시킨다고 볼 수 있었다. TS가 뇌성마비 아동의 족압 특성을 변화시킨 원인은 3가지로 추측할 수 있었다. 첫째, TS가 입각기 동안 족부에 역학적인 지지와 안정성을 추가적으로 제공함으로써 입각기 하지에서 체중 이동이 원활하게 일어나게 되고, 이로 인해 체중지지 하지 않은 반대편 유각기의 다리가 더 크게 이동할 수 있었다는 것이다. 둘째, TS에 의한 고유수용성 및 피부 감각의 입력이다. 이로 인해 발바닥 파악반사와 함께 과도한 긴장도와 통증이 억제되어 체중 이동이 원활하게 일어나 족압 중심의 이동 속도가 증가하였다고 볼 수 있다. 셋째, 변경된 족부 역학이다. TS는 발가락발허리관절(methatarsophalangeal joint)을 중립위 또는 약간 신전위로 위치시킴으로써 족부의 생체역학적 배열을 변화시켜 족압 중심의 이동속도를 증가시켰을 것이다. 이러한 복합적인 원인들로 인해 결과적으로 보행 속도는 증가하게 된다. de Saca 등[10]은 발바닥 파악반사가 있는 뇌졸중 환자에게 TS 착용 후, 보행 속도와 분속수가 증가하였다고 보고하여 본 연구와 결과와 유사하였다.

그러나, 본 연구에서는 연구 대상자를 독립 보행이 가능한 경한 경직성 뇌성마비 아동으로 제한하였기 때문에 심한 족부 변형이 있는 환아에서 TS의 유용성 여부는 단언할 수 없다는 제한점이 남는다. 또한, TS가 단지 족지 및 전족부와 같은 원위부에 국한된 영향을 미칠 수 있다는 제한점을 고려하여 차후 구두나 경직 완화 목적의 단하지 보조기에 TS를 결합하여 장기적으로 적용했을 경우의 보행의 운동역학적 특성을 알아보는 연구가 필요하리라고 본다.

V. 결론

본 연구에서는 경직성 양하지 뇌성마비 환아 12명을 대상으로 압력측정 시스템을 이용하여 보행 동안 TS를 착용한 상태에서 보행 동안 족저압과 족저압 중심 이동경로를 분석한 결과 TS의 치료적 효용성을 입증할 수 있었다. 특히 보행 시에 발바닥을 발가락과 전족부의 평균힘이 통계적으로 유의하게 감소하였으며, 족저압 중심의 전후 이동거리 및 족저압 중심의 이동속도가 통계적으로 유의하게 증가하였다. 그러므로 경직성 양하지 뇌성마비 아동에서 TS가 치료적 효과가 있다고 판단할 수 있었다.

Author Contributions

Research design: Shin HK, Tae KS
Acquisition of data: Shin HK, Tae KS
Analysis and interpretation of data: Shin HK, Tae KS
Drafting of the manuscript: Shin HK, Tae KS

Research supervision: Shin HK

참고문헌

1. Futagi Y, Otani K, Imai K. Asymmetry in plantar grasp response during infancy. Pediatr Neurol. 1995;12(1):54-7.
2. Couillandre A, Maton B, Breniere Y. Voluntary toe-walking gait initiation: Electromyographical and biomechanical aspects. Exp Brain Res. 2002;147(3):313-21.
3. Effgen SK. Integration of the plantar grasp reflex as an indicator of ambulation potential in developmentally disabled infants. Phys Ther. 1982;62(4):433-5.
4. Zafeiriou DI. Plantar grasp reflex in high-risk infants during the first year of life. Pediatr Neurol. 2000;22(1):75-6.
5. Futagi Y, Suzuki Y, Goto M. Clinical significance of plantar grasp response in infants. Pediatr Neurol. 1999;20(2):111-5.
6. Dursun E, Dursun N, Alican D. Ankle-foot orthoses: Effect on gait in children with cerebral palsy. Disabil Rehabil. 2002;24(7):345-7.
7. Brehm MA, Harlaar J, Schwartz M. Effect of ankle-foot orthoses on walking efficiency and gait in children with cerebral palsy. J Rehabil Med. 2008;40(7):529-34.
8. Crenshaw S, Herzog R, Castagno P et al. The efficacy of tone-reducing features in orthotics on the gait of children with spastic diplegic cerebral palsy. J Pediatr Orthop. 2000;20(2):210-6.
9. Hayek S, Hemo Y, Chamis S et al. The effect of community-prescribed ankle-foot orthoses on gait parameters in children with spastic cerebral palsy. J Child Orthop. 2007;1(6):325-32.
10. de Saca LR, Catlin PA, Segal RL. Immediate effects of the toe spreader on the tonic toe flexion reflex. Phys Ther. 1994;74(6):561-70.
11. Chang JS, Lee SY, Lee MH et al. The correlations between gait speed and muscle activation or foot pressure in stroke patients. J Kor Soc Phys Ther. 2009;21(3):47-52.
12. Iwata M, Kondo I, Sato Y et al. An ankle-foot orthosis with inhibitor bar: Effect on hemiplegic gait. Arch Phys Med Rehabil. 2003;84(6):924-7.
13. Bennett D, Walsh M, O'Sullivan R et al. Use of a dynamic foot pressure index to monitor the effects of treatment for equinus gait in children with cerebral palsy. J Pediatr Orthop. 2007;27(3):288-94.
14. Park ES, Kim HW, Park CI et al. Dynamic foot pressure measurements for assessing foot deformity in persons with spastic cerebral palsy. Arch Phys Med Rehabil. 2006;87(5):703-9.
15. Koh EK, Jung DY. A review of biomechanical treatments for the diabetic foot. J Kor Soc Phys Ther. 2007;19(5):51-63.
16. Nyska M, Shabat S, Simkin A et al. Dynamic force distribution during level walking under the feet of patients with chronic ankle instability. Br J Sports Med. 2003;37(6):495-7.
17. Park ES, Park CI, Kim JY et al. Foot pressure distribution and path of center of pressure (cop) of foot during ambulation in the children with spastic cerebral palsy. Journal of Korean Academy of Rehabilitation Medicine. 2002;26(2):127-32.
18. Perry J, Burnfield JM, Gronley JK et al. Toe walking: Muscular demands at the ankle and knee. Arch Phys Med Rehabil. 2003;84(1):7-16.
19. Saraph V, Zwick EB, Steinwender C et al. Conservative management of dynamic equinus in diplegic children treated by gait improvement surgery. J Pediatr Orthop B. 2001;10(4):287-92.
20. Park CI, Bae HC, Ko YH et al. The characteristic of foot pressure in children with mild spastic diplegic cerebral palsy related to medial arch formation. Journal of Korean Academy of Rehabilitation Medicine. 2003;27(1):33-7.
21. Smetana M, Vencalkova S. [use of a silicone metatarso-phalangeal joint endoprosthesis in hallux rigidus over a 15-year period]. Acta Chir Orthop Traumatol Cech. 2003;70(3):177-81.
22. Jagadamma KC, Coutts FJ, Mercer TH et al. Effects of tuning of ankle foot orthoses-footwear combination using wedges on stance phase knee hyperextension in children with cerebral palsy - Preliminary results. Disabil Rehabil Assist Technol. 2009:1-8.