

경직성 양지마비형 뇌성마비와 정상 소아의 정적 기립 시 균형조절의 비교

연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 재활의학연구소

나동욱 · 박창일 · 정호익 · 김민준 · 김형빈 · 박은숙

Comparison of Postural Control Mechanisms during Quiet Standing between Healthy Children and Children with Spastic Diplegic Cerebral Palsy

Dong Wook Rha, M.D., Chang-il Park, M.D., Ho Ik Chung, M.D., Min June Kim, M.D., Hyoung Bin Kim, M.D. and Eun Sook Park, M.D.

Department and Research Institute of Rehabilitation Medicine, Yonsei University College of Medicine

Objective: To identify the difference of postural control mechanisms between healthy children and children with spastic diplegic cerebral palsy (CP)

Method: Nineteen children with spastic diplegic CP and 22 healthy children were enrolled. Pressure data were recorded while subjects stood on the dual force platform and net body coordinates of center-of-pressure (COP) were calculated. Outcome measurements included net body COP calculations for path length, medio-lateral and antero-posterior displacements, and correlation coefficients between parameters representing ankle, hip and transverse body rotation mechanisms.

Results: Children with CP showed more medio-lateral and antero-posterior displacements compared to healthy children.

The coordinate of net body COP showed more correlation with transverse body rotation parameters for both medio-lateral and antero-posterior rections, and less correlation with ankle mechanism parameters for medio-lateral direction in children with CP. The visual information did not show a significant influence on keeping balance during quiet standing in children with CP.

Conclusion: This study revealed that the ankle control mechanism for medio-lateral balance control during quiet standing was less used in children with CP. The transverse body rotation mechanisms contributed more significantly to postural control during quiet standing in children with CP. (J Korean Acad Rehab Med 2006; 30: 468-474)

Key Words: Cerebral palsy, Postural control, Center of pressure

서 론

기립 균형을 유지하는 능력은 일상생활 동작 수행을 위한 중요한 요소 중의 하나이다. 균형의 조절은 신경-근-골격계의 복잡한 상호 작용에 의해 완성되는데 여기에는 고유감각(proprioception), 전정 감각(vestibular input), 시각적 피드백(visual feedback) 기전 등이 작용한다.⁴⁾ 정상 소아에서는 안정된 기립자세의 유지와 균형의 조절을 위한 이러한 상호작용들이 자동적으로 일어나지만, 뇌성마비 환아와 같이 신경-근-골격계에 장애가 있는 경우에는 이 자체가 치료의 목표가 되기도 한다.⁴⁾ 또한 균형 조절 장애는 뇌성마비 환아에서 보행장애의 중요한 요소로 알려져 있으며,^{2,3)} 균형의 조절은 모든 운동 능력의 기본적인 요소가 되기 때문에

균형 조절 능력의 향상을 통해 기능의 증진을 기대할 수도 있다.⁴⁾ 그럼에도 불구하고 균형 조절 능력에 대한 평가는 임상에서 보편적으로 시행되지는 않고 있다.

균형조절 능력을 평가하기 위해 몇몇 임상적 평가 도구들이 보고되어 왔으나 객관적인 평가 도구로서는 한계가 있었다.^{1,16)} 이러한 부분을 보완하고 정량적인 균형조절 능력의 평가를 위해 몸의 운동형상학적(kinematic) 평가, 운동역학적(kinetic) 평가 및 역동적 근전도(dynamic electromyography) 검사 등을 이용한 균형측정 방법들이 시도되어 왔다.^{5,8,11,18,20)} 몸의 균형을 평가하기 위해서는 몸의 질량중심점(center-of-mass)의 움직임에 대한 운동형상학적 분석이 필요하나, 이를 위해서는 많은 수의 표식자가 필요할 뿐 아니라 측정 장비 감도의 한계가 있는 등 측정에 어려움이 있다.¹⁷⁾ 따라서 몸의 질량중심점을 반영하는 간접적인 지표로 힘판(force platform)을 이용하여 측정된 압력중심점(center-of-pressure)의 운동역학적 분석이 측정방법의 용이성 때문에 많이 사용되고 있다.¹³⁾ 초기의 연구에서는 단일 힘판을 이용하여 압력중심점을 측정하고, 이 점이 전후, 좌우로 움직인 정도나 이동 거리(path length) 등으로 균형능력을 측

접수일: 2006년 5월 9일, 게재승인일: 2006년 9월 6일

교신저자: 박은숙, 서울시 서대문구 신촌동 134

☎ 120-752, 연세의료원 재활병원 재활의학과

Tel: 02-2228-3700, Fax: 02-363-2795

E-mail: pes1234@yumc.yonsei.ac.kr

정 및 비교하였는데,^{7,8,14)} 소아에서도 이러한 평가방법의 유용성이 보고된 바 있다.²⁰⁾ 이후 이중 힘판을 이용하여 기립 균형 조절 시 고관절 부위와 발목관절의 움직임 전략이 기여하는 정도를 분리하여 정량적으로 산출할 수 있는 방법이 보고되었고,¹⁷⁻¹⁹⁾ 몸통 회전 전략을 반영하는 지표도 제안되어 기립균형 조절에 미치는 영향이 보고되었다.⁴⁾

따라서 본 연구에서는 정상 소아와 경직성 양지 뇌성마비 환아를 대상으로 이중 힘판을 이용하여 정적 기립 시 압력중심점의 좌표를 측정하고, 기립균형의 조절 기전을 반영하는 지표를 계산하여 두 군 간의 차이를 분석하고자 하였다.

연구대상 및 방법

1) 연구대상

2005년 5월부터 12월까지 본원 동작분석실에 보행분석을 위해 내원한 경직성 양지 뇌성마비 환아 49명을 대상으로 검사를 시행하였다. 이 중 사시, 약시, 미숙아 망막병증을 포함한 안과적 질환이나 만성 중이염을 포함한 청력, 전정 기관 기능의 장애를 유발할 수 있는 질환, 경련성 질환의 과거력이 있는 환아, 근건 연장술과 선택적 후근절제술의 수술력이 있는 환아, 최근 6개월 이내에 보툴리눔 독소 주사요법을 시행받은 환아 및 정신지체가 동반된 환아를 제외한 만 5~6세인 19명의 환아를 실험군으로 하였으며, 남자가 12명, 여자가 7명이었다. 실험군은 검사수행을 위해 독립적인 기립이 가능한 전신 운동기능 분류 시스템(Gross Motor Function Classification System, GMFCS) 단계 I~III에 해당되었으며,¹²⁾ 단계 I이 5명, 단계 II가 11명, 단계 III이 3명이었다. 대조군은 만 5~6세의 건강한 어린이 22명으로 하였으며, 남자가 11명, 여자가 11명이었다. 실험군은 신장 109.3±2.8 cm, 몸무게 18.9±2.1 kg이었고, 대조군은 신장 110.5±3.0 cm, 몸무게 19.6±2.2 kg으로 두 군 간에 차이가 없었다.

2) 연구방법

(1) 검사방법: 압력중심점의 측정을 위하여 이중 힘판을 사용하였고, 사용된 힘판은 AMTI OR 6-5 (Advanced Mechanical Technology Inc., Massachusetts, USA)이었다. 대상 아동들에게 맨발로 발을 어깨 넓이로 벌린 상태에서 각 힘판에 한발씩 올려놓고 서게 한 다음 최대한 움직이지 말고 가만히 서 있도록 하였다. 압력수치는 눈을 뜬 상태와 눈을 감은 상태에서 번갈아 측정하였으며, 각각 3회씩 측정하여 그 평균값을 분석하였다. 측정빈도(sampling frequency)는 60 Hz이었고 고주파 잡음(high-frequency noise)을 제거하기 위하여 차단 주파수(cut-off frequency) 5 Hz의 버터워스 디지털 필터(butterworth digital filter)를 적용하였다. 각 시도당 약 15~20초 동안 압력수치를 측정하였고, 그중 시작과 끝

부분의 일부 수치를 제거하고 검사 중간의 10초간의 압력 수치를 분석하였다.

(2) 평가지표: 이중 힘판의 좌표계는 대상의 좌우방향을 x축으로, 전후방향을 y축으로 하였다. 좌우의 힘판에서는 각각 좌측 압력중심 좌표(x_{left}, y_{left})와 우측 압력중심 좌표(x_{right}, y_{right})가 측정된다. 또한 좌우 압력중심 좌표에서의 수직 지면 반발력(vertical ground reaction force) R_{left} 와 R_{right}가 측정된다. 이 측정치를 이용하여 총 압력중심 좌표인 x_{net}, y_{net}을 다음과 같이 계산하였다.¹⁸⁾

$$x_{net} = \frac{R_{right}}{R_{right}+R_{left}} x_{right} + \frac{R_{left}}{R_{right}+R_{left}} x_{left}$$

$$= r_{right}x_{right} + r_{left}x_{left}$$

$$y_{net} = \frac{R_{right}}{R_{right}+R_{left}} y_{right} + \frac{R_{left}}{R_{right}+R_{left}} y_{left}$$

$$= r_{right}y_{right} + r_{left}y_{left}$$

여기서 r_{left}와 r_{right}는 정적 기립 시 좌우 발에서의 체중부하 비를 나타내는 지표이다. 계산된 총 압력중심 좌표인 x_{net}, y_{net}이 2차원 평면에서 움직인 주행경로를 추적하여 검사 시간 동안의 좌우 이동범위, 전후 이동범위 및 초당 주행 경로의 길이를 측정하고 실험군과 대조군 간의 차이 및 각 군 내에서 눈을 뜬 경우와 감은 경우의 차이를 비교하였다 (Fig. 1).

또한 이러한 측정치를 이용하여 Winter 등¹⁷⁻¹⁹⁾의 연구에서와 같이 발목관절의 움직임 전략과 고관절 부위에서의 움직임 전략을 반영하는 지표를 다음과 같이 계산하였다.

$$x_{ank} = \bar{r}_{right}x_{right} + \bar{r}_{left}x_{left}$$

$$y_{ank} = \bar{r}_{right}y_{right} + \bar{r}_{left}y_{left}$$
(1)

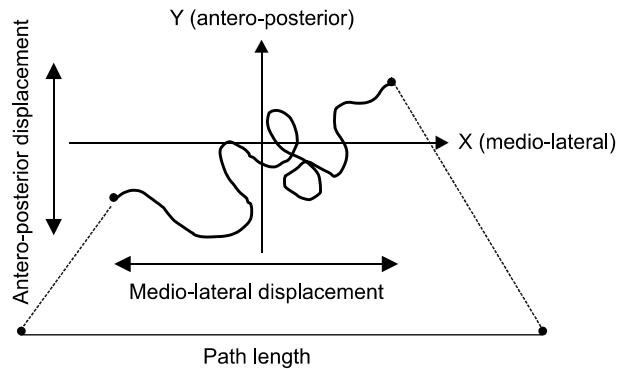


Fig. 1. Trajectory and calculated parameters of net body center-of-pressure for standing balance evaluation: Path length was expressed as a measure of velocity which was average distance traveled per second during one sample period.

$$\begin{aligned} x_{wt} &= x_{net} - x_{ank} \\ y_{wt} &= y_{net} - y_{ank} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} x_{rot} &= | \bar{i}_{right}x_{right} - \bar{i}_{left}x_{left} | \\ y_{rot} &= | \bar{i}_{right}y_{right} - \bar{i}_{left}y_{left} | \end{aligned} \quad (3)$$

\bar{i}_{left} 와 \bar{i}_{right} 는 r_{left} 와 r_{right} 의 검사기간 동안의 평균값을 의미하며 이는 고관절 부위에서의 움직임 전략에 의한 좌우 체중부하의 변화를 배제한 수치로 이를 통해 위와 같이 발목관절의 움직임 전략에 의한 압력중심의 좌표 변화를 반영하는 지표인 x_{ank} 과 y_{ank} 을 계산하였다(1). 이 좌표를 처음에 계산한 x_{net} , y_{net} 에서 뺀 값으로 발목관절의 움직임 전략을 배제하고 고관절 부위에서의 움직임 전략을 반영하는 지표인 x_{wt} , y_{wt} 를 계산하였다(2). 몸통 회전 시에는 일측 하지의 전후 및 좌우의 좌표가 반대편 하지와는 반대방향으로 움직이기 때문에 Ferdjallah 등⁴⁾이 보고한 바와 같이, 우선 고관절 부위에서의 움직임 전략에 의한 좌우 체중부하의 변화를 배제하기 위해 \bar{i}_{left} 와 \bar{i}_{right} 를 적용하고 두 값의 차의 절대값을 계산하여 몸통 회전 전략을 반영하는 지표 x_{rot} , y_{rot} 을 계산하였다(3).

이렇게 계산된 상기의 (1)~(3) 지표들과 총 압력중심 좌표인 x_{net} , y_{net} 간의 상관계수를 분석함으로써 대상 아동의 정접기립 시 균형 조절 기전을 비교하였다.

3) 통계분석

통계분석은 실험군과 대조군 간의 비교를 위해서 independent t-test를 사용하였고, 각 군 내에서 눈을 뜬 상태와 감은 상태의 비교를 위해서 paired t-test를 사용하였다. 균형조절의 기전을 반영하는 지표들 간의 상관관계는 Spearman 상관계수를 사용하여 분석하였다. 통계처리는 SPSS version 11.0을 사용하였으며, 통계적 유의수준은 $p < 0.01$ 인 경우로 하였다.

결 과

1) 압력중심의 이동범위 및 이동경로

눈을 뜬 상태와 감은 상태에서 측정된 자료를 비교 분석한 결과, 대조군에서는 압력중심의 전후 이동범위와 초당 주행경로의 길이가 눈을 뜬 상태에 비하여 눈을 감은 상태에서 유의하게 증가하였다($p < 0.01$). 반면에 실험군에서는 눈을 뜬 상태와 감은 상태 사이에 모든 측정지표가 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 1).

실험군과 대조군 간의 측정지표들을 비교한 결과, 압력중심의 좌우 이동범위는 눈을 뜬 상태에서 실험군은 32.0 mm, 대조군은 18.7 mm, 눈을 감은 상태에서 실험군은 36.9 mm, 대조군은 22.6 mm로, 눈을 뜬 상태와 감은 상태 모두 실험군이 대조군에 비하여 유의하게 큰 값을 보였다($p < 0.01$). 실험군의 환아 중 압력중심의 좌우 이동범위가 대조군의 평균값보다 2배의 표준편차 이상으로 증가된 환아는, 눈을 뜬 경우에 7명(36.8%), 눈을 감은 경우에 6명(31.6%)이었다. 압력중심의 전후 이동범위도 눈을 뜬 상태에서 실험군은 36.0 mm, 대조군은 25.0 mm, 눈을 감은 상태에서 실험군은 39.1 mm, 대조군은 28.9 mm로, 눈을 뜬 상태와 감은 상태 모두 실험군이 대조군에 비하여 유의하게 큰 값을 보였다($p < 0.01$). 실험군의 환아 중 압력중심의 전후 이동범위가 대조군의 평균값보다 2배의 표준편차 이상으로 증가된 환아는, 눈을 뜬 경우에 6명(31.6%), 눈을 감은 경우에 9명(47.4%)이었다. 하지만 압력중심의 초당 주행경로의 길이는 눈을 뜬 상태와 감은 상태 모두에서 실험군과 대조군 간에 의미 있는 차이를 보이지 않았다(Table 1).

2) 균형조절의 기전

눈을 뜬 상태와 감은 상태에서 비교한 결과, 대조군과 실험군 모두에서 각 지표 간의 상관계수는 의미 있는 차이를

Table 1. Comparison of Net Body Center-of-pressure Parameters between Healthy Children and Children with Spastic Diplegic Cerebral Palsy

	Eye-opened		Eye-closed	
	Healthy children (n=22)	Cerebral palsy (n=19)	Healthy children (n=22)	Cerebral palsy (n=19)
ML ¹⁾ displacement (mm)	18.7±7.1	32.0±15.1 [†]	22.6±8.9	36.9±20.2 [†]
AP ²⁾ displacement (mm)	25.0±7.8	36.0±12.3 [†]	28.9±5.7*	39.1±11.7 [†]
Trajectory (mm/s)	61.7±10.5	65.8±15.2	68.1±10.7*	72.2±18.4

Values are mean±standard deviation.

1. ML: Medio-lateral, 2. AP: Antero-posterior

* $p < 0.01$ paired t-test between eye-opened status and eye-closed status, [†] $p < 0.01$ independent t-test between healthy children group and cerebral palsy group

Table 2. Comparison of Correlation Coefficients of Center-of-pressure Parameters between Healthy Children and Children with Spastic Diplegic Cerebral Palsy

	Eye-opened		Eye-closed	
	Healthy children (n=22)	Cerebral palsy (n=19)	Healthy children (n=22)	Cerebral palsy (n=19)
ML ¹⁾ displacement				
(x_{net} , x_{wt})	0.91±0.04	0.93±0.04	0.91±0.04	0.93±0.04
(x_{net} , x_{rot})	0.13±0.07	0.26±0.16*	0.16±0.09	0.29±0.16*
(x_{net} , x_{ank})	0.48±0.14	0.05±0.52*	0.50±0.15	0.03±0.54*
AP ²⁾ displacement				
(y_{net} , y_{wt})	0.04±0.22	0.01±0.27	0.01±0.20	0.04±0.25
(y_{net} , y_{rot})	0.50±0.18	0.69±0.23*	0.48±0.20	0.61±0.27
(y_{net} , y_{ank})	1.00±0.00	0.99±0.01	1.00±0.00	0.99±0.02

Values are mean±standard deviation.

1. ML: Medio-lateral, 2. AP: Antero-posterior

(x_{net} , y_{net}): coordinates of the net body center of pressure, (x_{wt} , y_{wt}): coordinates representing hip protraction/retraction, (x_{rot} , y_{rot}): coordinates representing body transverse rotation control, (x_{ank} , y_{ank}): coordinates representing ankle control

*p<0.01 independent t-test between healthy children group and cerebral palsy group

보이지 않았다(Table 2).

실험군과 대조군 간의 비교결과, 정적 기립 시 균형조절의 기전을 반영하는 각 지표 간의 상관계수에서 차이를 보였는데, x_{net} 과 x_{rot} 간의 상관계수는 눈을 뜬 상태에서 실험군은 0.26, 대조군은 0.13, 눈을 감은 상태에서 실험군은 0.29, 대조군은 0.16으로, 눈을 뜬 상태와 감은 상태 모두 실험군이 대조군에 비하여 유의하게 큰 값을 보였다(p<0.01). y_{net} 과 y_{rot} 간의 상관계수는 눈을 뜬 상태에서 실험군은 0.69, 대조군은 0.50, 눈을 감은 상태에서 실험군은 0.61, 대조군은 0.48로, 눈을 뜬 상태에서 실험군에서 유의하게 큰 값을 보였다(p<0.01). 반면에 x_{net} 과 x_{ank} 간의 상관계수는 눈을 뜬 상태에서 실험군은 0.05, 대조군은 0.48, 눈을 감은 상태에서 실험군은 0.03, 대조군은 0.50으로, 눈을 뜬 상태와 감은 상태 모두 실험군이 대조군에 비하여 유의하게 작은 값을 보였다(p<0.01)(Table 2).

고찰

이중 힘판을 이용하면 양다리 체중부하의 비대칭 정도를 반영한 압력중심점의 이동을 측정할 수 있으며, 각각의 힘판에서 측정된 압력 정보를 이용해 다양한 지표를 산출하여 기립균형 조절의 기전을 분석할 수 있다.^{17,18)} 이전의 연구들에서 정적 기립 시의 균형조절 능력을 정량적으로 비교하기 위하여 압력중심점의 이동에 관한 여러 지표들을 측정 또는 산출하여 비교하여 왔는데, 좌우 운동범위, 전후 운동범위, 초당 주행경로의 길이, 평균 방사상 이동범위(average radial displacement), 브라운 운동(Brownian motion)

모형을 이용한 확산 계수(diffusion coefficient) 등이 유용한 지표라고 알려져 있다.^{7,8,15,20)} 본 연구에서는 이러한 지표들 중 세 가지 지표, 즉 좌우 이동범위, 전후 이동범위 및 초당 주행경로의 길이를 비교하였다.

균형 조절에 관여하는 시각적 피드백의 영향을 평가하기 위하여 모든 검사는 눈을 뜬 상태와 감은 상태에서 각각 시행하였는데, 정상 소아와 뇌성마비 환아 모두에서 눈을 감았을 때 세 지표가 함께 증가하는 경향을 보였지만 정상 소아의 전후 이동범위와 초당 주행경로의 길이에서만 통계학적으로 의미 있는 변화가 관찰되었다(Table 1). 이는 단일 힘판을 이용했던 이전의 연구와 유사한 결과로, 뇌성마비 환아들이 기립균형의 조절에 있어 시각적 피드백 기전에 의존하는 정도가 정상 소아와 차이가 없음을 의미하며,¹⁵⁾ 또한 기립 균형을 위해 고유감각이나 전정감각을 수용하고 처리하는 능력도 정상 소아와 비교하여 차이가 없음을 의미한다.

정상 소아군과 뇌성마비 환아군의 비교에서는 압력중심점의 좌우 이동범위와 전후 이동범위가 눈을 뜨고 감음과 무관하게 뇌성마비 환아군에서 증가된 소견이 관찰되었다. 하지만 Rose 등¹⁵⁾의 연구에서 정상 소아에 비해 뇌성마비 환아에서 유의한 증가를 보였던 초당 주행경로의 길이가 본 연구에서는 두 군 간에 유의한 차이를 보이지 않았다. 즉, 정상 소아에서 전후 및 좌우 이동범위는 작았지만, 압력중심점이 좁은 범위에서 많은 움직임을 보여 결과적으로 초당 주행경로의 길이는 뇌성마비 환아와 유사한 값을 보였다(Fig. 2). Rose 등¹⁵⁾의 연구가 단일 힘판을 이용하였고 측정주파수, 필터의 차단주파수, 측정시간 등에서 본 연구

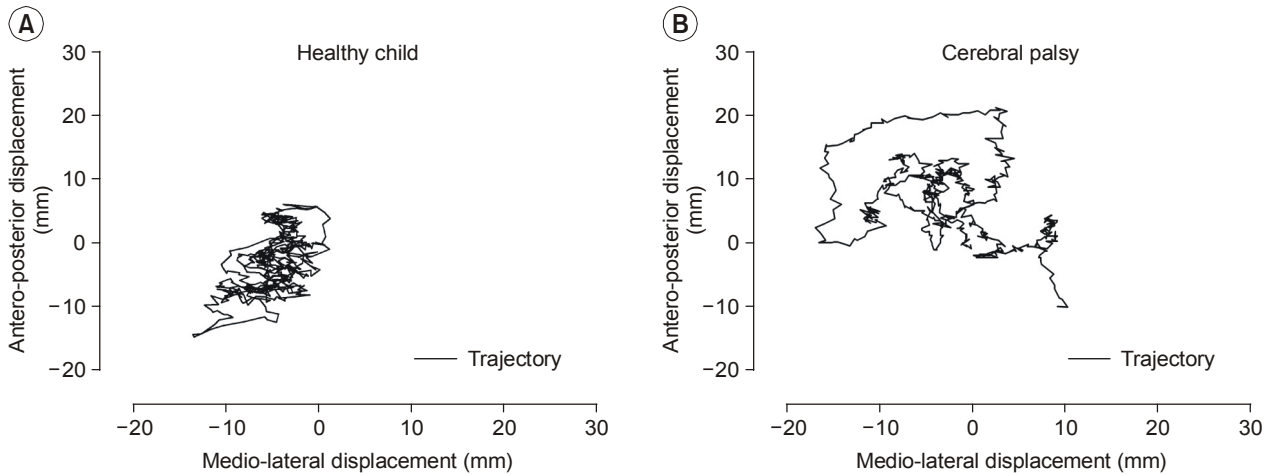


Fig. 2. Examples of trajectories in patients from control and experimental groups: A healthy child showed packed movement within narrow range (A). A child with cerebral palsy showed movement within wider range (B).

와 차이가 있었지만 측정 조건이 비교적 유사함에도 다른 결과가 나왔음을 고려하면, 초당 주행경로의 길이는 전후 및 좌우 이동범위에 비해 기립균형 조절능력의 정량적 비교에 있어 신뢰도(reliability)가 낮은 지표라고 생각된다. Harris 등⁶⁾도 뇌성마비 환자의 기립균형을 평가하기 위한 초기 연구에서 전후 및 좌우 이동범위가 측정이 간편하며 유의하고 믿을 만한 지표가 된다고 보고하였다.

정적 기립 시 균형유지를 위한 신경-근 반응을 바탕으로 그 기전을 설명하기 위한 많은 노력들이 있어 왔는데, 1988년 Macpherson^{9,10)}은 네발 서기(quadrupedal stance) 상태에 대한 연구를 통해 좌우 균형은 고관절 근육에 의해, 전후 균형은 고관절 및 발목관절 근육에 의해 조절된다는 기전으로 이를 단순화하여 설명하였다. 이러한 이론을 바탕으로 Winter 등^{18,19)}은 이중 힘판을 이용한 압력중심점의 측정을 통해 발목관절의 움직임 전략과 고관절 부위의 움직임 전략을 반영하는 지표를 계산해 내었으며 이를 이용하여 정적 기립 시의 균형조절 기전을 보고하였다. 즉, 양 발을 좌우로 벌리고 선 상태에서의 좌우 균형조절에는 고관절 부위의 움직임 전략이 주로 사용되는데 이것은 고관절의 내밀(protraction)/뒤당김(retraction) 움직임을 이용하여 좌우 다리의 체중 부하 정도를 조절하는 것이며, 전후 균형조절에는 발목관절의 움직임 전략이 주로 사용되는데 이는 발목관절의 저굴(plantarflexion)/배굴(dorsiflexion) 움직임을 이용하는 것이라고 설명하였다. 이후 Ferdjallah 등⁴⁾은 앞선 연구를 바탕으로 몸통 회전 전략을 반영하는 새로운 지표를 제안하였으며, 정상 소아와 뇌성마비 환자 모두에서 몸통 회전 전략이 전후 및 좌우의 균형조절에 의미 있는 기여를 하고 있음을 기술하였지만, 이러한 몸통 회전 전략의 지표를 이용한 다른 연구는 보고된 바가 없었다.

본 연구에서는 전술한 연구들^{4,18,19)}에서와 같이 이중 힘판

을 이용하여 발목관절의 움직임 전략, 고관절 부위의 움직임 전략, 몸통 회전 전략을 반영하는 지표를 산출한 뒤, 각각의 지표와 총 압력중심 좌표 사이의 연관성을 상관계수로 평가하여, 이 값을 정상 소아군과 뇌성마비 환자군 사이에서 비교함으로써 두 집단의 정적 기립 시 균형조절 기전의 차이를 연구하였다. 그 결과, 정상 소아군뿐만 아니라 뇌성마비 환자군에서도 좌우 균형조절에는 고관절 부위의 움직임 전략, 즉, 내밀/뒤당김 전략이, 전후 균형조절에는 발목관절의 움직임 전략, 즉, 저굴/배굴 전략이 우세하게 사용되는 조건이 관찰되어 이전의 연구들에서 알려진 정상적인 기립균형 조절 기전과 일치하는 결과를 보였다. 몸통 회전 전략은 정상 소아군과 뇌성마비 환자군 모두에서 특히 전후 균형조절과 의미 있는 상관관계를 보였으나, 좌우 균형조절에 관여하는 고관절 부위 전략이나 전후 균형조절에 관여하는 발목관절의 움직임 전략에 비해 표준편차가 큰 값을 보여 개인 간에 몸통 회전 전략 사용 정도에는 편차가 있는 것으로 생각된다. 또한 발목관절의 움직임 전략은 정상 소아군에서 좌우 균형조절에 있어서도 유의한 상관관계를 보였는데, 이는 정상 소아의 좌우 균형조절에 있어 발목관절의 내전(inversion)/외전(eversion) 전략이 중요한 기립균형 조절의 기전으로 사용되고 있음을 의미한다. 뇌성마비 환자군에서는 이러한 발목관절의 내전/외전 전략이 좌우 균형조절에 기여하는 정도가 현저히 감소하였다. Ferdjallah 등⁴⁾은 뇌성마비 환자에서 전후 균형조절에 기여하는 발목관절의 저굴/배굴 전략이 감소함을 보고하고, 뇌성마비 환자들은 발목관절의 경직과 선택적 움직임 조절의 장애로 전후 균형조절을 위해 고관절 부위의 움직임 전략이나 몸통 회전 전략 등을 상대적으로 많이 사용한다고 설명하였다. 본 연구에서는 뇌성마비 환자의 전후 균형조절에 기여하는 발목관절의 저굴/배굴 전략의 의미 있는 감소

는 관찰되지 않았지만 몸통 회전 전략이 전후 균형조절에 기여하는 정도가 뇌성마비 환아에서 정상 소아에 비해 증가된 소견을 고려하면, 좌우 균형조절에 기여하는 발목관절의 내전/외전 전략의 감소도 같은 원인으로 설명할 수 있다고 생각한다.

본 연구자들은 비교적 간단한 동작분석 검사를 통하여 정적 기립 시의 균형조절 능력 및 그 기전을 분석해 볼 수 있었다. 실제로 모든 검사는 15분 이내에 완료되었으며, 측정 실패한 경우도 없었다. 하지만 연구 결과에서 정상 소아군과 뇌성마비 환아군 간에 차이를 보였던 지표들, 특히 좌우 균형조절에 미치는 발목관절의 내전/외전 전략의 상관계수는 통계학적으로 의미 있는 차이를 보였지만 표준편차가 매우 커서 그 분포가 일정치 않음을 의미하였다. 또한 몸통 회전 전략이 좌우 균형조절에 기여하는 정도가 뇌성마비 환아군에서 증가된 수치를 보였지만, 상관계수값이 두 군 모두에서 평균 0.3 미만으로 측정되어 의미 있는 관계가 있다고 해석할 수 없기 때문에 두 군 간의 차이에도 의미를 부여하기는 힘들 것으로 생각한다. 본 연구에서는 5~6세인 GMFCS 단계 I~III의 경직성 양지 뇌성마비 환아만으로 대상을 제한하는 등 가능한 동등한 조건의 아동을 비교하기 위하여 노력하였다. 하지만 대상아동의 수가 적어 GMFCS 각 단계별 비교와 같은 좀 더 세분화된 기능수준에 따른 영향을 파악하지 못하였고, 비슷한 기능적 수준의 아동이라도 각 대상아동들 발목관절의 선택적 운동 조절 능력, 경직의 정도, 각 관절의 굴곡변형 정도에 따른 기립자세의 차이 등에 따라 발목관절의 움직임, 고관절의 움직임 및 몸통 회전 전략이 기립 균형 조절에 기여하는 정도가 다를 수 있음을 고려한 분석은 시행하지 못하였다. 추후 이러한 차이에 따른 비교연구가 뇌성마비 환아의 기립 균형 조절 기전에 영향을 미치는 요소들을 확인하기 위하여 필요할 것으로 생각한다.

결 론

본 연구에서는 경직성 양지 뇌성마비 환아 19명과 정상 아동 22명의 정적 기립 시 균형조절 능력 및 기전의 차이를 이중 힘판에서 측정된 압력 데이터를 분석하여 비교하였다. 그 결과 뇌성마비 환아에서 압력중심점의 좌우 및 전후의 이동범위가 증가하여 균형조절 능력의 저하가 관찰되었으나, 시각적 보상의 유무는 뇌성마비 환아에서 균형조절에 유의한 영향을 주지 않았다. 균형조절의 기전은 뇌성마비 환아에서 정상아동과 동일하게 좌우 균형조절에는 고관절의 움직임 전략이, 전후 균형조절에는 발목관절의 움직임 전략이 주로 사용되었으나, 좌우 균형조절을 위한 발목관절 움직임의 기여도가 감소되었다. 몸통 회전 전략은 눈을 뜬 상태의 뇌성마비 환아에서 정상아동에 비해 전후 균형조절에 대한 기여도가 증가되었다. 이상의 결과로 발목

관절의 효율적인 움직임의 장애가 경직성 양하지 뇌성마비 환아에서 관찰되는 정적 기립 시 균형조절능력 저하의 주요한 기전 중의 하나임을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) Berg K, Wood-Dauphinee S, Williams JI: The balance scale: reliability assessment with elderly residents and patients with an acute stroke. *Scand J Rehabil Med* 1995; 27: 27-36
- 2) Berger W, Altenmueller E, Dietz V: Normal and impaired development of children's gait. *Hum Neurobiol* 1984; 3: 163-170
- 3) Bleck EE: The sense of balance. *Dev Med Child Neurol* 1994; 36: 377-378
- 4) Ferdjallah M, Harris GF, Smith P, Wertsch JJ: Analysis of postural control synergies during quiet standing in healthy children and children with cerebral palsy. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2002; 17: 203-210
- 5) Gage WH, Winter DA, Frank JS, Adkin AL: Kinematic and kinetic validity of the inverted pendulum model in quiet standing. *Gait Posture* 2004; 19: 124-132
- 6) Harris GF, Riedel SA, Matesi D, Smith P: Standing postural stability assessment and signal stationarity in children with cerebral palsy. *IEEE Trans Rehab Eng* 1993; 1: 35-42
- 7) Hufschmidt A, Dichgans J, Mauritz KH, Hufschmidt M: Some methods and parameters of body sway quantification and their neurological applications. *Arch Psychiatr Nervenkr* 1980; 228: 135-150
- 8) Lehmann JF, Boswell S, Price R, Burleigh A, deLateur BJ, Jaffe KM, Hertling D: Quantitative evaluation of sway as an indicator of functional balance in post-traumatic brain injury. *Arch Phys Med Rehabil* 1990; 71: 955-962
- 9) Macpherson JM: Strategies that simplify the control of quadrupedal stance. I. Forces at the ground. *J Neurophysiol* 1988; 60: 204-217
- 10) Macpherson JM: Strategies that simplify the control of quadrupedal stance. II. Electromyographic activity. *J Neurophysiol* 1988; 60: 218-231
- 11) Mayagoitia RE, Lotters JC, Veltink PH, Hermens H: Standing balance evaluation using a triaxial accelerometer. *Gait Posture* 2002; 16: 55-59
- 12) Palisano R, Rosenbaum P, Walter S, Russell D, Wood E, Galuppi B: Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 1997; 39: 214-223
- 13) Parieto TE, Myklebust JB, Myklebust BM: Characterization and modeling of postural steadiness in the elderly: a review. *IEEE Trans Rehab Eng* 1993; 1: 26-34
- 14) Riach CL, Hayes KC: Maturation of postural sway in young children. *Dev Med Child Neurol* 1987; 29: 650-658
- 15) Rose J, Wolff DR, Jones VK, Bloch DA, Oehlert JW, Gamble JG: Postural balance in children with cerebral palsy. *Dev Med*

Child Neurol 2002; 44: 58-63

- 16) Tinetti ME, Ginter SF: Identifying mobility dysfunctions in elderly patients. Standard neuromuscular examination or direct assessment? JAMA 1988; 259: 1190-1193
 - 17) Winter DA, Patla AE, Ishac M, Gage WH: Motor mechanisms of balance during quiet standing. J Electromyogr Kinesiol 2003; 13: 49-56
 - 18) Winter DA, Prince F, Frank JS, Powell C, Zabjek KF: Unified theory regarding A/P and M/L balance in quiet stance. J Neurophysiol 1996; 75: 2334-2343
 - 19) Winter DA, Prince F, Stergiou P, Powell C: Medio-lateral and anterior-posterior motor responses associated with centre of pressure changes in quiet standing. Neurosci Res Commun 1993; 12: 141-148
 - 20) Wolff DR, Rose J, Jones VK, Bloch DA, Oehlert JW, Gamble JG: Postural balance measurements for children and adolescents. J Orthop Res 1998; 16: 271-275
-