

## 편평외반족을 동반한 뇌성마비 환자에서 비복근의 길이 및 속도 분석

연세대학교 의과대학 정형외과학교실<sup>1)</sup>, 한림대학교 의과대학 정형외과학교실<sup>2)</sup>

서영진<sup>2)</sup> · 박건보<sup>2)</sup> · 곽윤해<sup>1)</sup> · 이기석<sup>1)</sup> · 김현우<sup>1)</sup>

= Abstract =

### Gastrocnemius Muscle Length and Velocity During Gait in Patients with Planovalgus Foot Deformity in Cerebral Palsy

Young Jin Seo, M.D.<sup>2)</sup>, Kun Bo Park, M.D.<sup>2)</sup>, Yoon Hae Kwak, M.D.<sup>1)</sup>  
Ki Seok Lee, M.D.<sup>1)</sup>, Hyun Woo Kim, M.D.<sup>1)</sup>

*Department of Orthopaedic Surgery, Yonsei University College of Medicine, Korea<sup>1)</sup>  
Department of Orthopaedic Surgery, Hallym University College of Medicine, Korea<sup>2)</sup>*

**Purpose:** Patients with planovalgus show various abnormal gaits and these are affected by the different length and velocity of the muscles around knee and ankle. The purpose of study is to compare the length and velocity of gastrocnemius in cerebral palsy with planovalgus by ankle plantarflexion-knee extension couple.

**Materials and Methods:** 22 patients with spastic diplegia who have planovalgus were included. The mean age was 12 years (5 years~18 years). Group I consisted of 7 patients with knee flexion more than 30 degrees and Group II consisted of 15 patients with knee flexion less than 15 degrees during mid-stance phase. Normal groups were consisted of 15 normal children.

**Results:** In patients with planovalgus, ankle dorsiflexion during stance was decreased but ankle plantarflexion was not different compared to normal. There is no difference in the percent length of gastrocnemius compared to normal, but the velocity was decreased. The percent length of gastrocnemius was decreased in group I, but there were no difference in the velocity.

**Conclusion:** The decreased velocity of gastrocnemius is the cause of disability of ankle plantarflexion-knee extension couple and the variable length of gastrocnemius is the cause of variability of abnormal gait.

**Key Words:** Planovalgus, Cerebral palsy, Musculoskeletal model, Gait analysis

---

※ 통신저자: 김 현 우

서울특별시 서대문구 성산로 250

연세대학교 의과대학 정형외과학교실

TEL: 02) 2228-2187 FAX: 02) 363-1139 E-mail: pedhkim@yuhs.ac

접수일: 2008년 8월 31일, 게재확정일 2008년 12월 9일

\* 본 연구는 2008년 연세대학교 의과대학 교내연구비의 지원을 받아 이루어졌습니다.

## 서 론

정상적인 보행을 위해서는 족부의 안정성과 족관절, 슬관절, 고관절의 입각기 중 적절한 위치, 유각기 중 적절한 운동범위, 그리고 상체의 안정성 등을 필요로 한다. 뇌성마비 환아는 근육의 경직 혹은 강직이나 신경조절의 장애 등으로 보행 중 적절한 근육 작용의 실패, 이차적인 골격계 변형의 발생으로 병적인 보행을 하게 된다. 편평외반족은 뇌성마비 환아의 약 25%에서 발생하며<sup>5,6)</sup> 특히 경직성 양하지 마비 환아의 42%, 사지마비 환아의 68%에서 발생할 정도로 흔하다<sup>21)</sup>. 편평외반족은 후족부의 족저굴곡과 외반, 중족부의 외전, 전족부의 회외전으로 이루어지는 복합기형으로 족부의 부정정렬을 유발하며 외측지주의 길이가 짧아진다<sup>1,9)</sup>. 뇌성마비 환아의 편평외반족은 하퇴삼두근의 경직이 주된 원인이고 단 비골근의 경직과 후경골근의 약화가 또 다른 요인으로 제시되고 있다<sup>5)</sup>.

편평외반족이 동반된 뇌성마비 환아는 입각기 시 족부의 불안정성과 전족부의 외전으로 인해 하퇴삼두근의 작용 지렛대 길이가 짧아지게 되어 진출기 때 하퇴삼두근의 족저굴곡력이 효과적으로 전달되지 못한다. 입각기에 족관절과 슬관절의 관계에 의해 슬관절에는 신전 모멘트가 발생하는데 이를 족관절 족저굴곡-슬관절 신전조합(ankle plantar flexion-knee extension couple)이라 한다. 즉, 족관절의 족저굴곡은 슬관절의 신전 모멘트에 영향을 받으며, 족관절의 배부굴곡이 증가할수록 슬관절의 신전 모멘트는 증가한다. 편평외반족에서는 경직된 하퇴삼두근으로 인해 족관절의 배부굴곡이 이루어지지 않고, 따라서 족관절 족저굴곡-슬관절 신전조합의 기능이 감소된다<sup>4)</sup>.

편평외반족의 치료로는 골격의 교정을 위한 거골하 관절 외 유합술 혹은 종골 외측 지주 연장절골술과 함께 편평외반족의 원인인 하퇴 삼두근과 단 비골근의 연장술이 시행되어 왔다<sup>2,12)</sup>. 과거 편평외반족에 대한 치료 후 방사선적, 임상적 또는 보행상의 호전에 대한 많은 연구보고가 있었으나 이들은 단순히 방사선학적 호전에 대한 것이었으며 보행분석을 시도한 예는 있었으나 주로 족관절에 관심을 두었거나 각각의 관절에 따른 분석이

아니라 개괄적인 보행의 호전만을 기술하였다<sup>1,32)</sup>. 또한, 편평외반족이 있는 뇌성마비 환아의 보행장애는 하퇴삼두근의 작용 지렛대의 불균형뿐만 아니라 족관절 족저굴곡-슬관절 신전조합의 불균형에 의한 것이므로 이에 따라 다양한 양상의 병적 보행을 보임에도 치료 전의 병적 보행의 양상에 대해서 분석한 보고는 없었다. 편평외반족의 치료가 보행에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하기 위해서는 선행적으로 족관절 족저굴곡-슬관절 신전조합에 따라 어떠한 병적 보행을 보이는지를 분류하는 것이 우선 과제이다.

3차원 보행분석은 시상면, 관상면, 횡단면에서 각 관절의 움직임을 관찰하여 시간에 따른 움직임, 관절 모멘트, 관절 운동각 등을 3차원 적으로 분석할 수 있도록 수치와 그래프로 표시하는 기술이다. 3차원 보행 분석의 도입은 과거 관측자의 눈이나 비디오에 의존하는 방법에 비해 객관적인 자료를 제공하며 동시 발생하는 동작을 다차원에서 관찰할 수 있게 하여 줌으로써 병적 보행의 분석에서 필수적인 도구가 되었다<sup>6)</sup>. 병적 보행에서 나타나는 비정상적인 관절의 동작은 근육의 경직 혹은 강직 그리고 변형된 골격으로 인해 적절한 근육의 작용이 실패하기 때문에 발생한다. 이중 골격 변형은 방사선 측정으로 판정이 가능하나 근육의 측정에 있어서는 적절한 객관적인 측정법이 없었다. 과거 자기 공명 영상 촬영 혹은 초음파를 이용하여 근-건 길이의 분석을 하고자 시도된 바가 있으며, 최근에는 3차원 보행분석에서 골격모델을 이용하여 근-건 길이의 분석이 시도되고 있다<sup>3,4,10,13,26)</sup>. 뇌성마비 환아에서 나타나는 근육의 경직성은 단순히 근육의 길이가 짧아진 것이 아니며 근육의 수축 및 이완 속도의 영향을 받는 동적인 개념이다. 따라서 단순한 근육의 길이의 측정보다는 보행상태에 따른 근육길이의 변화 및 근-건 길이의 변화속도를 측정하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 편평외반족을 가진 뇌성마비 환아의 보행을 3차원 보행분석과 근-건 길이분석을 통해 근-건 길이의 변화 및 속도의 변화가 각 관절 및 보행에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고자 하였다. 또한, 족관절 족저굴곡-슬관절 신전조합의 양상에 따라 편평외반족 환아의 보행을 분류하여 이에 따른 슬관절 및 족관절 주변 근육의 운

동을 분석함으로써 향후 편평외반족 환자의 치료에 도움이 되는 기준을 제시하고자 하였다.

## 연구 대상 및 방법

### 연구 대상

최소 만 5세 이상의 경직성 뇌성마비 환자 중, 임상적 소견상 전족부 외전 및 후족부에 대한 회외전, 후족부 외반이 있으며 족저압 측정상 내측 족저압이 증가되어 있는 편평외반족 환자를 대상으로 하였다. 독립보행이 가능한 환자를 대상으로 하였으며 보행분석 검사상 보행이 불안정하여 모멘트의 측정 및 근-건길이의 측정이 불가능한 환자는 제외하였다. 선택적 후방 신경근 절단술을 시행하였거나 기타 뇌성마비에 관련된 다른 수술을 시행받은 환자는 제외하였으며 최소 6개월 이내 보틀리눔 등의 주사를 받은 환자도 제외하였다. 이학적 검사 및 컴퓨터 단층 촬영상 대퇴골 염전이 30도 이상인 환자 및 경골 외회전이 20도 이상, 내회전이 10도 이상인 환자는 제외하였다. 총 22명의 환자가 연구대상이었으며 남아가 17

명, 여아가 5명이었다. 환자의 검사 당시 평균연령은 12세(5세~18세)였다. 정상군은 5세에서 15세 사이의 정상인 15명을 대상으로 하였다.

족관절 족저굴곡-슬관절 신전 복합체에 따른 보행의 분류를 위하여 중기 입각기의 슬관절 최대 신전각이 슬관절 굴곡 30도 이상으로서 슬관절 굴곡 보행을 보이는 환자를 제 1 군으로 분류하였으며, 슬관절 굴곡 15도 미만으로서 슬관절 과신전 보행을 보이는 환자를 제 2 군으로 분류하였다. 중기 입각기의 슬관절 최대 신전각이 슬관절 굴곡 15도에서 30도사이인 환자는 없었다. 제 1 군의 환자는 총 7 명으로 남아가 5명 여아가 2명이었으며 평균연령은 12세(5년9개월~18세)이었다. 제 2 군의 환자는 총 15명으로 남아가 12명 여아가 3명이었고 평균연령은 7년7개월(5년~11년3개월)이었다(Fig. 1).

### 연구 방법

족저압의 평가를 위해 Tekscan사의 F-scan(Foot scan, Tekscan High Resolution Pressure Assessment System; Tekscan

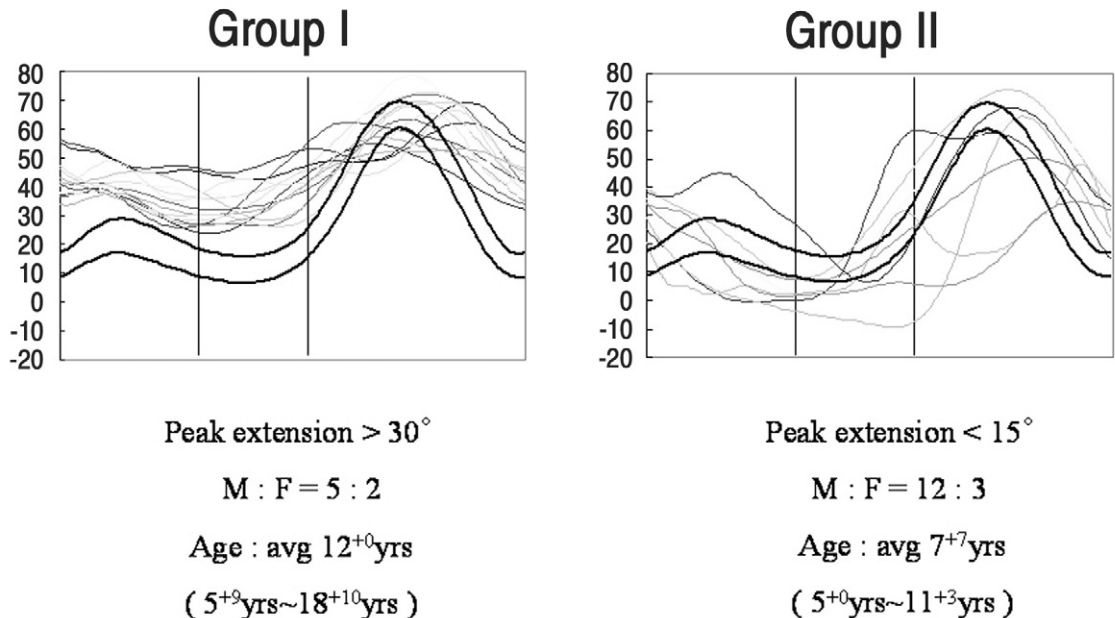


Fig. 1. Groups by knee range of motion; Group I consisted of 7 patients with knee flexion more than 30 degrees and Group II consisted of 15 patients with knee flexion less than 15 degrees during mid-stance phase.

Inc., South Boston, MA, U.S.A)을 이용하여 역동적 족저압 기록을 시행하였다. 환자의 몸무게와 족부 면적에 따른 차이를 보정하기 위해 전체 압력-시간 적분값에 대한 족부의 각 부분이 차지하는 비율인 비례 추진력(relative vertical impulse, RVI)을 무지, 제 1 중족골두, 제 2 중족골두, 제 3-4 중족골두, 제 5 중족골두, 내측 중족부, 외측 중족부, 내측 종골, 외측 종골의 9 곳에서 측정하였다<sup>7,16,27)</sup>.

보행은 삼차원 보행분석기인 Vicon 370 Motion Analysis System (Oxford Metrics Inc., Oxford, U.K.)을 이용하여 시공간적인 지표, 운동형상학적 지표 및 운동역학적 지표를 비교하였다. 13개의 수동 표식자를 각각 제 1 천추골, 양측 전상방 장골극, 대퇴골 외측면 중간지점, 대퇴골 외측 상과 직하방의 슬관절축, 비골 외측면의 중간지점, 외측 복사골, 두번째와 세번째

중족골 사이에 부착하였다. 검사 전 10미터 길이의 보도를 수 차례 걷게 하여 자연스러운 보행을 유도하였고 검사하는 동안 최소 10차례의 보행을 시도하여 분석하였다<sup>4,10,26)</sup>. 운동역학적 지표는 보도 중간에 숨겨져 있는 힘판에서 기록되는 지면 반발력으로 측정되었고 이를 통한 관절의 모멘트는 내부 모멘트로 기록되었다.

보행주기 동안 골반과 고관절, 슬관절, 족관절, 족부의 운동형상학적 변화와 운동역학적 변화를 시상면, 관상면, 횡단면에서 측정하여 표시하였다. 운동형상학적 지표는 관절 운동각도(degree)로 측정되었으며 운동역학적 지표 중 모멘트는 N·m/kg으로 측정되었다.

근육의 길이와 수축 속도는 3차원 보행분석상에서 얻어진 운동형상학적 지표를 바탕으로 Polygon 3.0을 이용하여 컴퓨터 상에서 3차원 모델을 작성하고 이에 각 근육의 해부학적 위치를 입력하

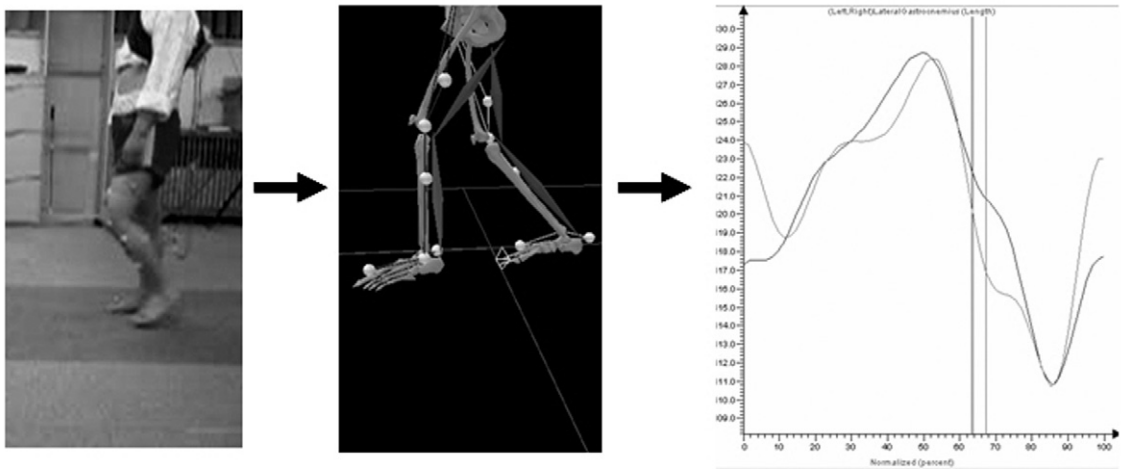


Fig. 2. Three dimensional musculo-skeletal model was made by kinetic and kinematic analysis of gait analysis. And muscle length was calculated and measured at 2% intervals through the gait cycle.

Table 1. Comparison of parameters of kinematics

Parameters		Planovalgus	Normal	P value
Knee (degrees)	Peak flexion during swing*	60.85 ± 11.63	64.61 ± 4.57	0.04
	Peak extension during stance	13.28 ± 15.98	11.00 ± 4.46	0.35
Ankle&foot (degrees)	Peak dorsiflexion during stance*	13.72 ± 7.10	18.66 ± 3.58	0.01
	Peak plantarflexion during stance	-11.11 ± 12.91	-12.21 ± 6.31	0.57

Values are mean ± standard deviation.

\* P < 0.05 ; P value: Planovalgus versus Normal

여 측정하였다. 근육의 길이는 재구성된 골격 모델에서 측정된 대퇴골 및 경골의 길이를 기준으로 하며 골격이 이루는 각도 또한 재구성된 골격 모델을 기준으로 하였다. 재 구성된 골격 모델 하에서 각 근육의 기시부로부터 종지부까지의 길이를 측정하였다<sup>4,13)</sup>(Fig. 2).

근육의 길이와 속도는 보행주기 중 2%마다 측정되었다. 근육의 길이는 보행 중 실제 근육 길이의 변화와 휴지기의 길이에 대한 보행 중 근육 길이의 변화의 비(ratio)로 나타내었으며, 근육의 수축 속도는 근육의 해부학적 길이 변화 속도와 최대 수축 속도에 대한 비(ratio)로 계산하였다<sup>10,16,17)</sup>. 반막양근(semimembranosus), 내측 비복근(medial gastrocnemius), 외측 비복근(lateral

gastrocnemius)의 근육의 길이 변화율과 변화 속도를 측정하였으며 측정된 운동학적, 운동역학적, 근-건 길이 변화율 및 변화 속도는 보행주기의 각 2%마다 측정된 수치를 평균화 하여 각 군의 평균 보행 분석 그래프를 작성하였다.

통계 분석은 SPSS 11.0 for windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였다. 편평외반족 환아군과 정상군의 비교 시 independent t-test를 적용하였으며 p value가 0.05 미만일 경우 통계학적으로 의미 있는 것으로 정의하였다. 제 1 군과 제 2 군의 비교 시 Mann-Whitney test를 적용하였으며 p value가 0.05 미만일 경우 통계학적으로 의미 있는 것으로 정의하였다.

**Table 2.** Comparison of sagittal parameters of kinetics during stance phase

		Planovalgus	Normal	P value
Hip	Peak extension	0.79±0.49	0.81±0.30	0.75
	Peak flexion*	-0.36±0.22	-0.51±0.14	0.01
Knee	Peak extension*	0.34±0.21	0.41±0.19	0.03
	Peak flexion	-0.31±0.29	-0.28±0.07	0.48
Ankle	Peak dorsiflexion*	0.92±0.46	1.22±0.17	0.01
	Peak plantarflexion	-0.04±0.08	-0.02±0.01	0.44

Values are mean ± standard deviation.

P value: Planovalgus versus Normal, \* p < 0.05

**Table 3.** Comparison of parameters of percent muscle length and velocities (Ratio) between planovalgus and normal

		Planovalgus	Normal	P value
Semimembranosus	Maximum length	1.08±0.07	1.11±0.04	0.08
	Minimum length*	0.93±0.05	0.90±0.03	0.01
	Maximum velocity*	0.00004±0.00005	0.27867±0.04890	0.01
	Minimum velocity*	-0.00002±0.00004	-0.19167±0.03550	0.01
Medial gastrocnemius	Maximum length	1.26±0.09	1.26±0.04	0.99
	Minimum length	1.07±0.07	1.09±0.03	0.52
	Maximum velocity*	0.00000±0.00000	0.37000±0.10000	0.01
	Minimum velocity*	0.00000±0.00000	-0.34000±0.08000	0.01
Lateral gastrocnemius	Maximum length	1.26±0.09	1.26±0.04	0.97
	Minimum length	1.11±0.07	1.10±0.03	0.41
	Maximum velocity *	0.00000±0.00000	0.29000±0.08000	0.01
	Minimum velocity *	0.00000±0.00000	-0.32000±0.07000	0.01

Values are mean ± standard deviation.

P value: Planovalgus versus Normal

\* p < 0.05

결 과

편평외반족 환자의 보행분석

환자군의 유각기 최대 굴곡( $60.85 \pm 11.63^\circ$ )이 동 연령대의 정상인 15명을 분석한 정상군의 유각기 최대 굴곡( $64.61 \pm 4.57^\circ$ )보다 증가되어 있었다( $P=0.04$ ). 환자군의 족관절의 입각기 중 최대 배부굴곡( $13.72 \pm 7.10^\circ$ )이 정상군의 족관절의 입각기 중 최대 배부굴곡 ( $18.66 \pm 3.58^\circ$ )보다 감소되어 있었으며( $P=0.01$ ), 최대 족저굴곡은 두

군간의 차이가 없었다(Table 1). 환자군에서 고관절의 최대 굴곡 모멘트와 슬관절의 최대 신전 모멘트, 족관절의 최대 족배굴곡 모멘트가 감소되어 있었다(Table 2).

반막양근의 유각기 최소 길이 변화율이 정상군보다 증가되어 있었다. 내측 비복근과 외측 비복근의 길이 변화율은 정상군과 차이가 없었다. 반막양근의 변화 속도가 정상보다 감소되어 있었다. 내측 비복근 및 외측 비복근의 변화 속도가 정상보다 감소되어 있었다(Table 3, Fig. 3).

슬관절 신전에 따른 분류에 의한 두 군의 보행

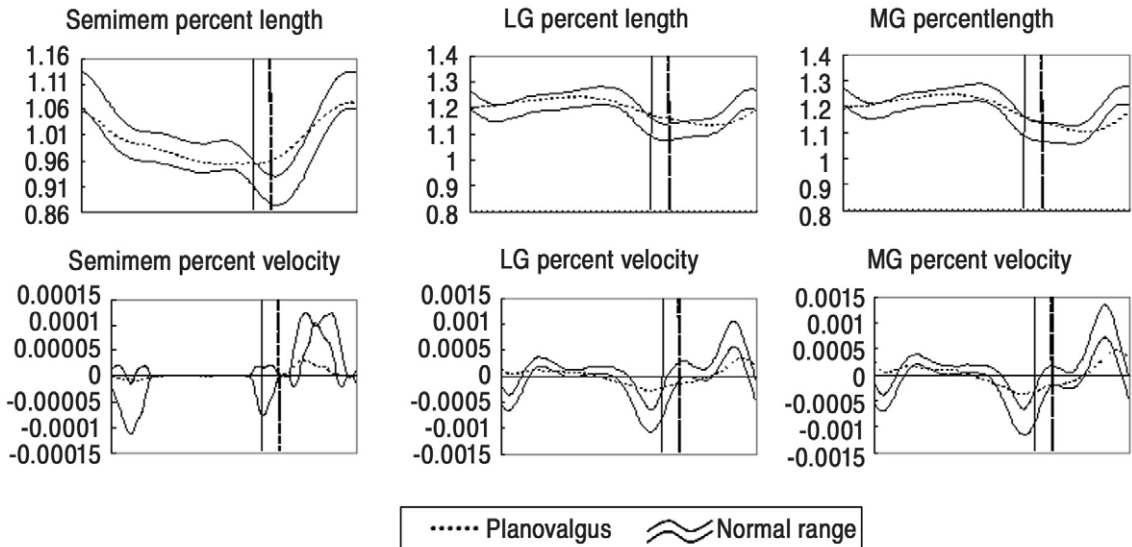


Fig. 3. Comparison of percent muscle length and velocities between planovalgus and normal.

Table 4. Comparison of relative vertical impulse

	Group I	Group II	P value
Hallux	$23.8\% \pm 11.6\%$	$20.7\% \pm 10.8\%$	0.63
1st metatarsal head	$16.0\% \pm 6.8\%$	$18.4\% \pm 8.1\%$	0.26
2nd metatarsal head	$17.6\% \pm 7.1\%$	$19.5\% \pm 6.6\%$	0.29
3-4th metatarsal head	$14.2\% \pm 5.7\%$	$12.4\% \pm 6.4\%$	0.27
5th metatarsal head	$6.5\% \pm 3.5\%$	$6.1\% \pm 5.0\%$	0.55
Lateral midfoot	$4.9\% \pm 5.8\%$	$3.6\% \pm 4.5\%$	0.37
Medial midfoot	$6.9\% \pm 4.9\%$	$9.5\% \pm 7.5\%$	0.27
Lateral calcaneus	$4.6\% \pm 5.2\%$	$4.2\% \pm 4.2\%$	0.99
Medial calcaneus	$5.5\% \pm 6.8\%$	$5.6\% \pm 5.7\%$	0.86

Values are mean  $\pm$  standard deviation.

P value: Group I versus Group II

분석 두 군간 분속, 보행속도 등 시공간적 지표 및 비례 추진력에서 통계상 의미 있는 차이는 없었다(Table 4, 5). 족관절의 입각기 배부 굴곡은 제 2 군( $11.60 \pm 6.34^\circ$ )에서 제 1 군( $18.26 \pm 6.69^\circ$ )보다 더 감소되어 있었다( $P=0.01$ )(Fig. 4). 슬관절의 최대 신전 모멘트는 제 1 군( $0.46 \pm 0.18 \text{ N} \cdot \text{m/kg}$ )에서 제 2 군( $0.28 \pm 0.20 \text{ N} \cdot \text{m/kg}$ )보다 더 증가되어 있었다( $P=0.01$ ). 족관절의 최대 족배 굴곡 모멘트는 제 1 군( $1.21 \pm 0.36 \text{ N} \cdot \text{m/kg}$ )에서 제 2 군( $0.79 \pm 0.45 \text{ N} \cdot$

$\text{m/kg}$ )보다 더 증가되어 있었다( $P=0.01$ ).

반막양근의 길이 변화율 및 변화 속도는 두 군간 차이가 없었다. 내, 외측 비복근의 최대 길이 변화율은 제 1 군( $1.20 \pm 0.06, 1.19 \pm 0.06$ )에서 제 2 군( $1.29 \pm 0.09, 1.29 \pm 0.09$ )보다 짧았다( $P=0.01, 0.01$ ). 내, 외측 비복근의 최소 길이 변화율 또한 제 1 군( $1.04 \pm 0.05, 1.08 \pm 0.05$ )에서 제 2 군( $1.09 \pm 0.07, 1.13 \pm 0.07$ )보다 짧았다( $P=0.02, 0.01$ ). 비복근의 변화 속도는 두 군간 차이가 없었다(Table 6, Fig. 5).

**Table 5.** Comparison of temporospatial parameters

	Group I	Group II	P value
Candence (steps/min)	107.28±25.89	101.97±41.11	0.71
Walking speed (m/s)	0.70±0.22	0.57±0.29	0.10
Step length (m)	0.39±0.13	0.31±0.13	0.08
Step time (s)	0.58±0.16	0.78±0.59	0.68
Step width (m)	0.23±0.07	0.24±0.17	0.31
Stride length (m)	0.79±0.24	0.64±0.26	0.60
Stride time (s)	1.19±0.32	3.32±9.69	0.83
Opposite foot contact (%)	51.31±2.49	48.37±6.98	0.06
Opposite foot off (%)	17.91±7.10	21.37±13.53	0.81
Foot off (%)	68.10±7.18	69.62±10.74	0.91

Values are mean ± standard deviation.

P value: Group I versus Group II

**Table 6.** Comparison of parameters of percent muscle length and velocities (Ratio) between groups

		Group I	Group II	P value
Semimembranosus	Maximum length	1.06±0.05	1.10±0.07	0.71
	Minimum length	0.92±0.04	0.94±0.05	0.45
	Maximum velocity	0.00004±0.00005	0.00004±0.00005	0.86
	Minimum velocity	-0.00001±0.00004	-0.00003±0.00004	0.36
Medial gastrocnemius	Maximum length*	1.20±0.06	1.29±0.09	0.01
	Minimum length*	1.04±0.05	1.09±0.07	0.02
	Maximum velocity	0.00068±0.00022	0.00067±0.00024	0.93
	Minimum velocity	-0.00074±0.00016	-0.00069±0.00026	0.48
Lateral gastrocnemius	Maximum length*	1.19±0.06	1.29±0.09	0.01
	Minimum length*	1.08±0.05	1.13±0.07	0.01
	Maximum velocity	0.00050±0.00018	0.00049±0.00019	0.96
	Minimum velocity	-0.00054±0.00010	-0.00053±0.00021	0.87

Values are mean ± standard deviation.

P value: Group I versus Group II

\*  $p < 0.05$

고 찰

본 연구에서 편평외반족 환자의 보행은 입각기와 유각기 모두에서 슬관절의 운동 범위가 감소되어 있어서, 입각기의 슬관절 신전이 제한되어 있는 슬관절 굴곡 보행보다는 입각기와 유각기 모두에서 슬관절이 굴곡된 상태에서 움직임이 제한되어 있는 슬관절 경직 보행에 가까웠다. 그러나,

초기 입각기 슬관절 굴곡이 증가되어 있다는 점은 슬관절 굴곡 보행과 차이가 없다고 볼 수 있다. 슬관절 굴곡 보행(crouch gait)시에 슬괵근의 길이에 대해서는 다양한 연구결과가 있다. 일련의 뇌성마비 환자의 보행분석을 통해 Schute 등<sup>26)</sup>은 67%에서 슬괵근의 길이가 짧다고 하였으며 Delp 등<sup>10)</sup>은 20%에서, Arnold 등<sup>3)</sup>은 35%에서 짧다고 하였다. 또한 슬괵근의 길이는 정상보다 짧지

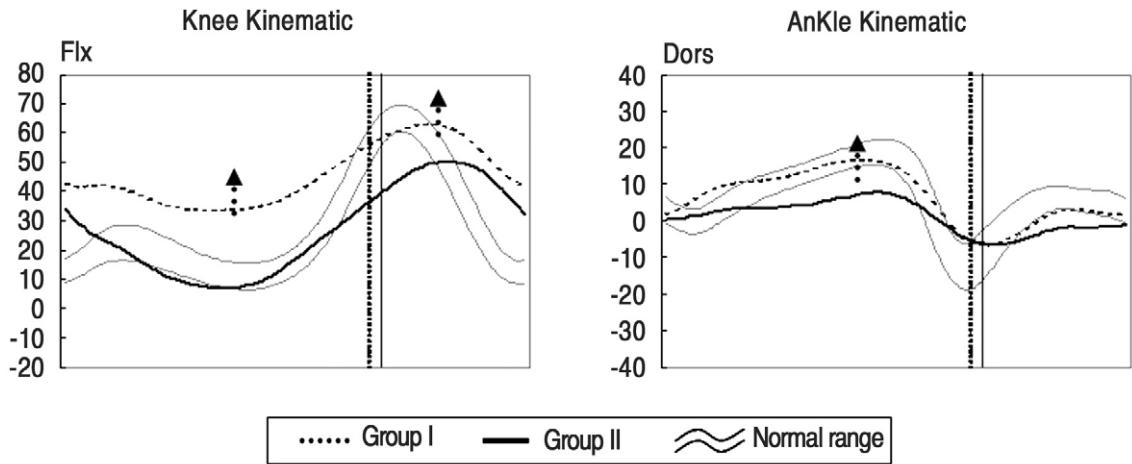


Fig. 4. Sagittal kinetics of knee and ankle in group I and II.

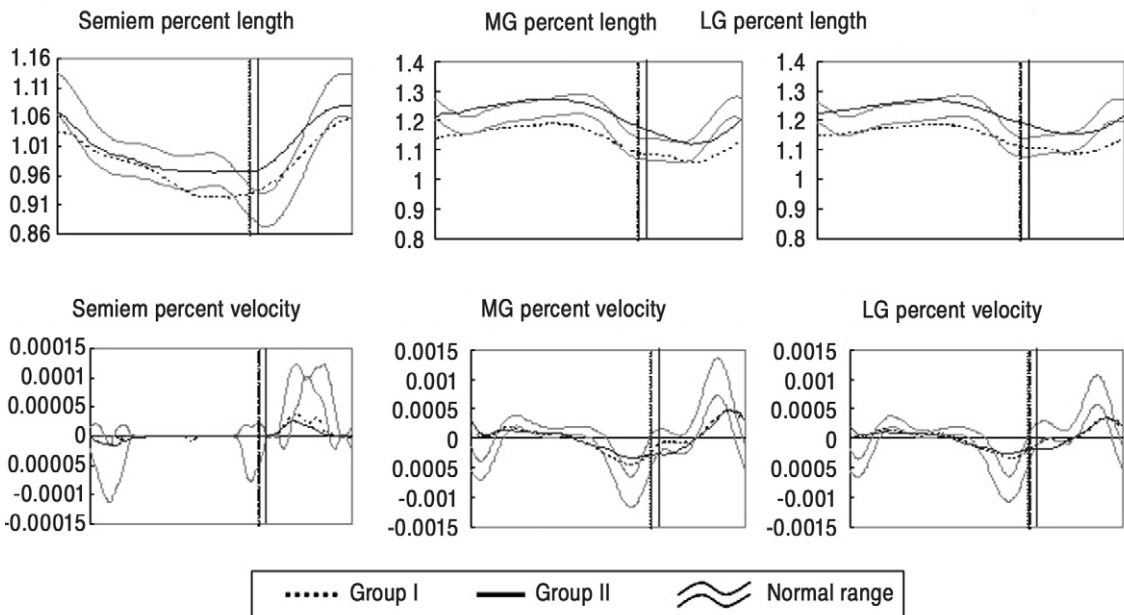


Fig. 5. Comparison of percent muscle length and velocities between group I and group II.



않으며 변화 속도만이 정상보다 느리다는 주장도 있었다<sup>8,10,18)</sup>. 본 연구에서 반막양근의 길이 변화율은 정상군보다 길고 변화 속도만이 감소되어 있었던 점은 슬관절 굴곡 보행에서 슬괵근의 길이보다는 속도가 더 큰 영향을 준다는 보고와 일맥상통한다고 하겠다. 단, 입각기 초기의 슬관절 굴곡을 평가하기 위해서는 유각기 말기의 슬괵근 길이에 대한 분석 또한 필요할 것으로 생각된다.

뇌성마비 환자의 편평외반족의 원인 중 하나가 하퇴삼두근의 경직이므로 하퇴 삼두근의 길이 변화율 및 변화 속도가 정상보다 감소되어 있을 것으로 생각되었으나, 길이 변화율의 경우 정상군과 큰 차이가 없었으며 변화 속도만이 정상군보다 감소되어 있었다. Orendurff 등<sup>22)</sup>은 침족 보행을 보이는 뇌성마비 환자에서 아킬레스 건 연장술 후 속도는 호전되었으나 길이에서는 차이가 없었음을 보고한 바 있다. 실제 비복근의 길이 평가를 위해서는 골격계 부정정렬을 보완하여 재 측정을 할 필요가 있으며, 경직의 정도나 편마비 혹은 양하지 마비인지 등의 차이에 의해서도 근-건 길이는 다양하게 나타날 것으로 생각된다. 그러나, 본 연구 결과 편평외반족이 동반된 뇌성마비 환자에서 비복근의 속도는 정상보다 감소되어 있을 것으로 생각된다.

뇌성마비 환자의 보행은 각 근육의 경직 및 골격의 변형에 따라 다양하게 나타나며 과거 이러한 보행의 분류에 대한 많은 연구가 있었다<sup>15,19,23,25,29,30)</sup>. 본 연구에서는 비디오 분석 및 보행 분석을 통하여 슬관절 굴곡 보행과 과신전 보행의 두 군으로 나누어 분석을 하였다. 즉 정상범위를 벗어난 슬관절 신전모멘트를 보이는 경우 이에 따른 환자의 보행 양상을 분석하고자 하였으며, 제 1 군은 중기 입각기의 슬관절이 굴곡 모멘트를 보이며 제 2 군은 정상 이상으로 증가된 슬관절 신전 모멘트를 나타내어 족관절 족저굴곡-슬관절 신전조합에 이상이 나타나는 경우이다. 두 군의 역동적 족저압 및 시공간적 지표의 비교 시 통계적으로 의미있는 차이를 보이지 않았는 바, 이것은 각 군에서의 병적 보행 양상은 편평외반족 변형 정도에 의해 영향을 받지 않았음을 의미한다고 할 수 있다. 시상면상 제 1 군은 슬관절 운동은 감소되어 있었고, 족관절의 배부 굴곡은 증가되어 있어 슬관절 경직 보

행과 유사하게 나타났다. 제 2 군은 입각기 중 슬관절의 신전은 정상군보다 더 증가되어 있었으나 유각기의 슬관절 굴곡은 감소되어 있었고, 입각기 초반의 슬관절 굴곡은 증가되어 있어 점프 보행과 슬관절 굴곡 보행이 혼합된 듯한 보행을 보였다.

슬관절 굴곡근인 반막양근에서는 두 군간 유의한 차이가 관찰되지 않았으며, 비복근의 경우에도 두 군간 변화 속도의 차이는 나타나지 않았다. 반면 길이 변화율은 제 1 군에서 족관절의 배부 굴곡이 더 증가되어 있음에도 제 2 군보다 짧게 측정되었다. Neptune 등<sup>20)</sup>은 비복근이 짧으면 슬관절이 신전된다고 주장한 바 있으며, Yamaguchi 등<sup>31)</sup>은 슬관절이 굴곡된다고 하였다. 또한 Baddar 등<sup>4)</sup>은 하퇴삼두근의 모멘트 길이가 족관절에서 더 크기 때문에 하퇴삼두근이 짧으면 입각기 중 슬관절이 굴곡되며 하퇴 삼두근 연장술 후 족관절 배부 굴곡이 증가하였으며 초기 접지기의 슬관절 굴곡이 감소한다고 하였다. 본 연구에서 나타난 바로는 비복근의 길이 변화율이 감소된 군에서 슬관절이 굴곡된 것으로 나타났다. 따라서 슬관절이 굴곡되어 있는 제 1 군에서는 편평외반족의 교정과 하퇴 삼두근의 연장으로 하퇴삼두근의 지렛대 교정뿐만 아니라 슬관절 신전까지 증가하여 족관절 굴곡-슬관절 신전 조합의 호전 또한 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

반면 제 2 군의 경우 슬관절이 신전되어 있으며 족관절이 족저 굴곡 되어 있음에도 비복근의 길이 변화율은 길게 나타났다. 이러한 결과는 근육의 길이만을 고려할 때 제 2 군과 같이 슬관절 신전 보행을 하는 경우 하퇴삼두근의 연장이 편평외반족의 교정에는 필요할지라도 보행의 호전에 있어서는 오히려 악영향을 끼칠 것으로 우려된다. 또한 Delp 등<sup>11)</sup>은 침족 보행에서 아킬레스 건 연장술 시 가자미근이 늘어나고 슬관절 신전은 감소되지만 족관절의 족저 굴곡력이 감소한다고 하였다. 그러나 제 2 군의 경우에도 비복근의 변화 속도는 정상군 보다 감소되어 있었으며 아킬레스 건의 연장 시 길이의 변화는 없으며 속도만이 호전된다는 Orendurff 등<sup>22)</sup>의 주장을 고려할 때 하퇴 삼두근의 연장 후 길이 연장에 의한 악영향은 크지 않을 것으로 사료된다. 또한 초기 접지기의 족관절 족저 굴곡이 슬관절의 과신전에 영향을 주므로<sup>17)</sup>

하퇴 삼두근의 연장에 의해 슬관절의 과신전 또한 교정 효과를 볼 수 있을 것으로 기대된다. 과거의 연구에서 하퇴 삼두근만 연장하는 것은 경직된 슬관절에 의한 과도한 슬관절 굴곡 때문에 기피되어 왔다<sup>14,24,28)</sup>. 그러나 슬관절 과신전 보행을 보이는 경우 슬관절 굴곡근의 길이 및 속도가 슬관절 굴곡 보행을 보이는 경우와 차이가 없으며 이와 같은 경우 슬관절 연장술이 시행되는 경우 오히려 슬관절 과신전을 유발하는 결과가 될 것으로 생각된다.

Schute 등<sup>26)</sup>은 골격계의 부정정렬이 있는 경우 근-건 길이의 측정시 신뢰도가 떨어지며 이의 보정이 필요하다고 한 바 있다. 본 연구에서는 이와 같은 부정정렬을 고려하지 않았으며 추후 골격의 변형 및 대상의 연령등을 고려한 실험군의 선택이 필요할 것이다. 더 정확한 분석을 위해서는 근골격계의 변형을 보정한 모델이 필요할 것으로 생각되며 가능한 유사 연령대의 실험군을 모집하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

## 결 론

편평외반족에서의 비복근의 경직은 길이보다는 속도에 의한 것이며 편평외반족의 교정 및 보행의 호전을 위해서는 비복근의 연장이 필요하다. 슬관절 과신전 보행을 보이며 편평외반족이 있는 경우, 슬관절 굴곡 보행을 보이는 환아보다 비복근의 길이는 증가되어 있으나, 두 보행 모두에서 비복근의 속도는 감소되어 있다.

## REFERENCES

- 1) **Abu-Faraj ZO, Harris GF and Smith PA:** Surgical rehabilitation of planovalgus foot in cerebral palsy. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 9: 202-214, 2001.
- 2) **Andreacchio A, Orellana CA, Miller F and Bowen TR:** Lateral column lengthening as treatment for planovalgus foot deformity in ambulatory children with spastic cerebral palsy. J Pediatr Orthop, 20: 501-505, 2000.
- 3) **Arnold AS, Liu MQ, Schwartz MH, Ounpuu S and Delp SL:** The role of estimating muscle-tendon lengths and velocities of the hamstrings in the evaluation and treatment of crouch gait. Gait Posture, 23: 273-281, 2006.
- 4) **Baddar A, Granata K, Damiano DL, Carmines DV, Blanco JS and Abel MF:** Ankle and knee coupling in patients with spastic diplegia : effect of gastrocnemius-soleus lengthening. J Bone Joint Surg, 84-A: 736-744, 2002.
- 5) **Bennet GC, Rang M and Jones D:** Varus and valgus deformities of the foot in cerebral palsy. Dev Med Child Neurol, 24: 499-503, 1982.
- 6) **Blair E and Stanley JJ:** An epidemiological study of cerebral palsy in Western Australia, 1956-1975. III: postnatal etiology. Dev Med Child Neurol, 24: 575-585, 1982.
- 7) **Bowen TR, Miller F, Castagno P, Richards J and Lipton G:** A method of dynamic foot-pressure measurement for the evaluation of pediatric orthopaedic foot deformities. J Pediatr Orthop, 18: 787-793, 1998.
- 8) **Crenna P:** Spasticity and spastic gait in children with cerebral palsy. Neurosci Biobehav Rev, 22: 571-578, 1998.
- 9) **Davis JR, Ounpuu S, Deluca PA and Davis III RB:** Optimization of walking ability of children with cerebral palsy. J Bone Joint Surg, 85-A: 2224-2234, 2003.
- 10) **Delp SL, Arnold AS, Speers RA and Moore CA:** Hamstrings and psoas lengths during normal and crouch gait : implications for muscle-tendon surgery. J Orthop Res, 14: 144-151, 1996.
- 11) **Delp SL and Zajac FE:** Force and moment generating capacity of lower extremity muscles before and after tendon lengthening. Clin Orthop, 10: 247-259, 1992.
- 12) **Dennyson W and Fulford GE:** Subtalar arthrodesis by cancellous grafts and metallic internal fixation. J Bone Joint Surg, 58-B: 507-510, 1976.
- 13) **Eames NWA, Baker RJ and Cosgrove AP:** Defining gastrocnemius length in ambulant chil-

- dren. *Gait Posture*, 6: 9-17, 1997.
- 14) **Gage JR:** *Gait analysis in cerebral palsy in clinics in developmental medicine*. 2nd ed. London, Mackeith; 1991.
  - 15) **Goldberg SR, Anderson FC, Pandy MG and Delp SL:** Muscles that influence knee flexion velocity in double support : implications for stiff-knee gait. *J Biomech*, 37: 1189-1196, 2004.
  - 16) **Henning EM and Rosenbaum D:** Pressure distribution patterns under the feet of children in comparison with adults. *Foot Ankle*, 11: 306-311, 1991.
  - 17) **Higginson JS, Zajac FE, Neptune RR, Kautz SA, Burgar CG and Delp SL:** Effect of equinus foot placement and intrinsic muscle response on knee extension during stance. *Gait Posture*, 23: 32-36, 2006.
  - 18) **Hoffinger SA, Rab GT and Abou-Ghaida H:** Hamstrings in cerebral palsy crouch gait. *J Pediatr Orthop*, 13: 722-726, 1993.
  - 19) **Jonkers I, Stewart C, Desloovere K, Molenaers G and Spaepen A:** Musculo-tendon length and lengthening velocity of rectus femoris in stiff knee gait. *Gait Posture*, 23: 222-229, 2006.
  - 20) **Neptune RR, Kautz SA and Zajac FE:** Contributions of the individual ankle plantar flexors to support forward progression and swing initiation during walking. *J Biomech* 34: 1387-1398, 2001.
  - 21) **O'Connell PA, D'Souza and Dudeney S:** Foot deformities in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*, 18: 743-747, 1998.
  - 22) **Orendurff MS, Aiona MD, Dorociak RD and Pierce RA:** Length and force of the gastrocnemius and soleus during gait following tendo achilles lengthening in children with equinus. *Gait Posture*, 15: 130-135, 2002.
  - 23) **Piazza SJ and Delp SL:** The influence of muscles on knee flexion during the swing phase of gait. *J Biomech*, 29: 723-733, 1996.
  - 24) **Rang M: Cerebral palsy.** In: Morrissy RT. Lovell and Winter's *Pediatric Orthopaedics*. 3rd ed. Philadelphia, JB Lippincott; 465-506, 1990.
  - 25) **Rodda J and Graham HK:** Classification of gait patterns in spastic hemiplegia and spastic diplegia: a basis for a management algorithm. *Eur J Neurol*, 2001; 8: 98-108.
  - 26) **Schutte LM, Hayden SW and Gage JR:** Lengths of hamstrings and psoas muscles during crouch gait : effects of femoral anteversion. *J Orthop Res*, 15: 615-621, 1997.
  - 27) **Soames RW:** Foot pressure patterns during gait. *J Biomed Eng* 7: 120-126, 1985.
  - 28) **Sutherland DH and Cooper L:** The pathomechanics of progressive crouch gait in spastic diplegia. *Orthop Clin North Am*, 9: 143-154, 1978.
  - 29) **Sutherland DH and Davids JR:** Common gait abnormalities of the knee in cerebral palsy. *Clin Orthop Rel Res*, 288: 139-147, 1993.
  - 30) **Sutherland DH, Larsen LJ and Mann R:** Rectus femoris release in selected patients with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 17: 26-34, 1975.
  - 31) **Yamaguchi GT and Zajac FE:** Restoring unassisted natural gait to paraplegics via functional neuromuscular stimulation: a computer simulation study. *IEEE Trans Biomed Eng*, 37: 886-902, 1990.
  - 32) **Yoo WJ, Chung CY, Choi IH, Cho TJ and Kim DH:** Calcaneal lengthening for the planovalgus foot deformity in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*, 25: 781-785, 2005.