

편평외반족을 동반한 뇌성마비  
환자에서 근골격계 modelling을  
이용한 보행분류의 새로운 고안

연세대학교 대학원

의 학 과

서 영 진

편평외반족을 동반한 뇌성마비  
환자에서 근골격계 modelling을  
이용한 보행분류의 새로운 고안

지도 박희완 교수

이 논문을 박사학위 논문으로 제출함

2006 년 12 월 일

연세대학교 대학원

의 학 과

서 영 진

# 서 영 진 의 박사 학위논문을 인준함

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

연세대학교 대학원

2006 년 12 월 일

감사의 글

하나의 논문이 완성되기까지는 논문의 기획, 임상 시험, 자료수집, 자료분석, 결과도출, 결론 및 고찰등의 여러 단계의 과정을 거치게 됩니다. 약 2년 가까운 기간 동안의 이와 같은 복잡한 과정의 성과물인 본 논문은 저자 한 개인이 이루어 낼 수 있었던 것이 아니며 많은 분들의 헌신적인 참여와 도움이 있었기에 가능했다고 생각합니다.

먼저 지도교수로서 따뜻한 격려속에 가르침을 주시고 이끌어 주신 박희완 주임교수님께 감사의 말씀을 드리며 논문의 전 과정에 걸쳐 열성적으로 참여해주신 김현우 교수님께도 감사의 말씀을 드립니다. 재활의학과 신지철 교수님, 김덕용 교수님, 의용공학과 김영호 교수님의 면밀한 논문 분석을 통한 애정어린 자문 덕분에 더욱 치밀한 논문 구성을 이루어 낼 수 있었기에 아울러 감사의 마음을 전하고자 합니다.

‘欲速不達’ - 초등학생 시절 어머니의 친필 서예로 저자의 방에 걸려있던 글귀입니다. 논어에서 출전된 고사성어 임은 나중에 알게 되었으나 민첩한 행동을 경계하는 뜻이 아니라 눈앞의 이익이나 성과에 휘말려 조급하게 졸속적인 일처리를 하면 오히려 그르치게 되므로 매사는 차근차근히 치밀하게 준비하고 시행해야 한다는 뜻으로 이해하고 그 뜻을 항상 가슴에 품고 매사에 임하고자 하였습니다. 본 논문의 완성 단계에서 다시한번 그 뜻을 기리게 됩니다. 큰 뜻을 새기어 주신 부모님께 감사의 말씀을 드립니다.

학문의 길에 끝은 없겠으나 본 논문이 저자를 그 길에서 한 걸음 더 던져 만들어 준 것만은 틀림 없는 것 같습니다. 의사 가운을 입고 지금까지 걸어온 길에서 저자를 이끌어 주신 세브란스 정형외과 교

실의 모든 교수님들과 현재 몸담고 있는 한림의대의 장준동 과장님 이하 동료 교수님들께 논문 작성 과정중 시간적 배려와 성원을 해주신 점에 감사의 말씀을 전하고 싶습니다.

마지막으로 본 연구에 참여한 환우들의 쾌유를 빌며 논문 작성 과정에서 많은 조언을 아끼지 않은 박건보 교수에게도 감사의 마음을 전합니다.

저자 씀

<차례>

국문요약 .....	1
I. 서론 .....	4
II. 대상 및 방법 .....	7
1. 연구대상 .....	7
2. 연구방법 .....	10
III. 결과 .....	14
1. 편평외반족 환아의 보행분석 .....	14
가. 역동적 족저압 분석 .....	14
나. 시공간적 지표 .....	15
다. 운동형상학적 분석 .....	16
라. 운동역학적 분석 .....	19
마. 근-건 길이 분석 .....	21
바. 근-건 속도 분석 .....	23
2. 슬관절 신전에 따른 분류에 의한 두 군의 보행분석 .....	25
가. 역동적 족저압 분석 .....	25
나. 시공간적 지표 .....	26
다. 운동형상학적 분석 .....	27
라. 운동역학적 분석 .....	30
마. 근-건 길이 분석 .....	32
바. 근-건 속도 분석 .....	34
IV. 고찰 .....	36
V. 결론 .....	41

참고문헌 .....	42
영문요약 .....	47

## 그림 차례

Fig. 1. Groups by knee range of motion. ....	9
Fig. 2. Model for calculation of gastrocnemius muscle-tendon length. ....	11
Fig. 3. Three dimensional musculo-skeletal model and measure of muscle length. ....	12
Fig. 4. Comparison of kinematics. ....	18
Fig. 5. Comparison of kinetics. ....	20
Fig. 6. Comparison of muscle lengths. ....	22
Fig. 7. Comparison of muscle velocities. ....	24
Fig. 8. Comparison of kinematics. ....	29
Fig. 9. Comparison of kinetics. ....	31
Fig. 10. Comparison of muscle lengths. ....	33
Fig. 11. Comparison of muscle velocities. ....	35



## 표 차례

Table 1. Patient data. ....	8
Table 2. Comparison of relative impulses between planovalgus group and normal group. ....	14
Table 3. Comparison of temporospatial parameters between planovalgus group and normal group. ....	15
Table 4. Comparison of parameters of kinematics. ....	17
Table 5. Comparison of parameters of kinetics during stance phase. ....	19
Table 6. Comparison of parameters of percent muscle lengths. ....	21
Table 7. Comparison of parameters of percent muscle velocities. ....	23
Table 8. Comparison of relative impulses. ....	25
Table 9. Comparison of temporospatial parameters. ....	26
Table 10. Comparison of parameters of kinematics. ....	28
Table 11. Comparison of parameters of kinetics during stance phase. ....	30
Table 12. Comparison of parameters of percent muscle lengths. ....	32

Table 13. Comparison of parameters of percent muscle velocities. .... 34

편평외반족을 동반한 뇌성마비 환자에서 근골격계 modelling을 이용한 보행분류의 새로운 고안

뇌성마비 환아는 근육의 경직 혹은 강직이나 신경조절의 장애 등으로 보행 중 적절한 근육 작용의 실패, 이차적인 골격계 변형의 발생으로 병적인 보행을 한다. 편평외반족은 뇌성마비 환아에서 흔하게 관찰되는 족부 변형으로 입각기(stance phase)시 족부의 불안정성과 전족부의 외전으로 인해 하퇴 삼두근(triceps surae)의 작용 지렛대 길이가 짧아지고 입각기 중 족관절의 배부굴곡이 적절히 이루어지지 않아 족관절 족저굴곡-슬관절 신전 조합(ankle plantar flexion-knee extension coupling)의 기능이 감소된다. 과거 편평외반족에 대한 치료 후 방사선, 임상적 또는 보행상의 호전에 대한 많은 연구보고가 있었으나, 편평외반족이 동반된 뇌성마비 환아가 다양한 양상의 병적 보행을 보임에도 치료 전 병적 보행의 양상에 대해서 분석한 보고는 없었다. 또한 3차원 동작 분석을 통해 각 관절의 이상 동작에 대해서는 평가가 가능하였으나 근본적 원인인 근육의 경직이 보행에 미치는 영향에 대해서는 연구가 이루어지지 않았다.

이에 본 연구에서는 3차원 보행분석과 근-건 길이분석을 이용해 근-건 길이의 변화 및 속도의 변화가 각 관절 및 보행에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고자 하였다. 또한, 편평외반족에서 이상 보행의 원인 중 하나인 족관절 족저굴곡-슬관절 신전 조합의 작용에 근거하여, 편평외반족 환아의 보행을 분류하여 향후 편평외반족 환아의 치료 후 결과 분석에 필요한 기준을 제시하고자 하였다.

2003년 9월부터 2005년 9월까지 경직성 뇌성마비로 내원한 환아중 최소 만 5세 이상이면서 임상적 소견상 전족부 외전 및 후족부에 대한 회외전, 후족부 외반이 있으며 족저압 측정상 내측 족저압이 증가되어 있는 편평외반족 환아를 대상으로 하였다. 독립보행이 가능한 환아를 대상으로 하

였으며 보행분석 검사상 보행이 불안정하여 모멘트의 측정 및 근-건 길이의 측정이 불가능한 환아는 제외하였다. 선택적 후방 신경근 절단술(selective posterior rhizotomy)을 시행하였거나 기타 뇌성마비에 관련된 다른 수술을 시행받은 환아는 제외하였으며, 최소 6개월 이내 보툴리눔(Botulinium)등의 주사를 받은 환아는 제외하였다. 총 22명의 환아로서 남아가 17명, 여아가 5명이었다. 환아의 검사 당시 평균 연령은 12세(5세~18세)였다. 정상군은 5세에서 15세사이의 정상인 15명을 대상으로 측정하여 실험군(편평외반족군)과 비교하였다. 족관절 족저굴곡-슬관절 신전 복합체에 따른 보행의 분류를 위하여 중기 입각기의 슬관절 최대 신전각이 30도 이상으로 굴곡되어 슬관절 굴곡 보행을 보이는 환아를 제 1 군으로, 15도 이하로 굴곡되어 슬관절 과신전 보행을 보이는 환아를 제 2 군으로 분류하였다. 제 1 군의 환아는 총 7 명으로 남아가 5명 여아가 2명이었다. 평균연령은 12세(5년9개월~18세)이었다. 제 2 군의 환아는 총 15명으로 남아가 12명 여아가 3명이었다. 평균연령은 7년7개월(5년~11년3개월)이었다.

정상군과 편평외반족군과의 비교시 편평외반족군에서 골반 전방 경사가 정상군보다 증가되어 있었으며 고관절 최대 신전각은 감소되어 있었다. 편평외반족군에서 초기 접지기의 슬관절 굴곡이 증가되어 있었으며, 유각기 슬관절 굴곡이 감소되어 있었다. 또한 정상군보다 슬관절의 내회전이 증가되어 있었다. 족관절의 최대 배부굴곡은 감소되어 있었으며 최대 족저굴곡은 정상군과 차이가 없었다. 족관절은 외회전 되어있었으며, 족부 진행각은 입각기 중에는 정상군과 차이가 없었다. 편평외반족군은 장골근과 중둔근의 길이가 정상군보다 짧았다. 대퇴 직근의 길이는 정상군보다 짧았으며 박근과 대퇴 이두근은 정상군보다 길이가 증가되어 있었다. 비복근은 내외측 모두 길이는 정상군과 차이가 없었다. 편평외반족군에서 장골근의 입각기 수축속도 및 유각기의 이완속도가 정상군보다 감소되어 있었다. 대퇴 직근의 최대 수축 속도 및 반막양근의 이완속도는 감소되어 있었다. 박근과 대퇴 이두근은 유각기 최대 이완속도가 정상보다

감소되어 있었다. 비복근의 최대 이완속도와 수축속도가 정상보다 감소되어 있었다.

보행시 슬관절 신전양상에 따른 두 군의 비교시 골반의 시상면, 관상면, 횡단면상에는 두 군간 차이가 없었다. 제 1 군에서 슬관절의 신전이 감소되어 있었으며 굴곡은 증가되어 있었다. 족관절의 입각기 배부 굴곡은 제 2 군에서 더 감소되어 있었다. 장골근, 내전근, 중둔근의 길이는 두 군간 차이가 없었다. 슬관절 굴곡근의 길이는 두 군간 차이가 없었다. 비복근의 길이는 제 1 군에서 더 짧았다. 슬관절 굴곡근의 속도는 두 군간 차이가 없었다. 제 1 군에서 대퇴 직근의 속도는 수축,이완 모두 감소되어 있었다. 비복근의 속도는 두 군간 차이가 없었다.

편평외반족군에서의 비복근의 경직은 길이보다는 속도에 의한 것이며 편평외반족의 교정 및 보행의 호전을 위해서는 비복근의 연장이 추가로 필요할 것으로 사료되었다. 슬관절 과신전 보행을 보이며 편평외반족이 있는 경우에도 슬관절 굴곡 보행을 보이는 환아보다 비복근의 길이는 증가되나 비복근의 속도가 감소되어 있으므로 연장은 필요하며 단, 족저 굴곡 모멘트의 보전을 위해 가자미근을 피하고 비복근의 주의깊은 연장이 필요할 것으로 판단된다.

---

핵심되는 말 : 편평외반족, 뇌성마비, 근-건 길이분석, 보행분석

# 편평외반족을 동반한 뇌성마비 환자에서 근골격계 modelling을 이용한 보행분류의 새로운 고안

<지도교수 박 희 완>

연세대학교 대학원 의학과

서 영 진

## I. 서론

정상적인 보행을 위해서는 족부의 안정성과 족관절, 슬관절, 고관절의 입각기 중 적절한 위치, 유각기 중 적절한 운동범위, 그리고 상체의 안정성을 필요로 한다. 뇌성마비 환아는 근육의 경직 혹은 강직이나 신경조절의 장애 등으로 보행 중 적절한 근육 작용의 실패, 이차적인 골격계 변형의 발생으로 병적인 보행을 한다.

뇌성마비는 신생아 1,000명 중 약 1.5 내지 2.5명의 유병율을 보이며 미숙아의 생존율이 증가함에 따라 과거에 비해 그 유병율이 증가하고 있다. 뇌성마비 환아의 약 25%에서 편평외반족(planovalgus)이 발생하며<sup>1,2</sup> 특히 경직성 양하지 마비 환아의 42%, 사지마비 환아의 68%에서 발생할 정도로 흔하다<sup>3</sup>. 편평외반족은 후족부(hindfoot)의 족저굴곡과 외반(valgus), 중족부(midfoot)의 외전(abduction), 전족부(forefoot)의 회외전(supination)으로 이루어지는 복합기형으로 족부의 부정정렬을 유발하며 외측지주(lateral column)의 길이가 짧아진다<sup>4,5</sup>. 뇌성마비 환아의 편평외반족은 하퇴 삼두근(triceps surae)의 경직성이 주된 원인이고 단 비골근(peroneus brevis)의 경직성과 후 경골근(posterior tibialis)의 약화가 또

다른 요인으로 제시되고 있다<sup>2</sup>.

편평외반족이 동반된 뇌성마비 환아는 입각기(stance phase)시 족부의 불안정성과 전족부의 외전으로 인해 하퇴 삼두근의 작용 지렛대 길이가 짧아지게 되어 진출기(push off)때 하퇴 삼두근의 족저굴곡력이 효과적으로 전달되지 못한다. 입각기에 족관절과 슬관절의 관계에 의해 슬관절에는 신전 모멘트가 발생하는데 이를 족관절 족저굴곡-슬관절 신전조합(ankle plantar flexion-knee extension coupling)이라 한다. 즉, 족관절의 족저굴곡은 슬관절의 신전 모멘트에 영향을 받으며, 족관절의 배부굴곡(신전)이 증가할수록 슬관절의 신전 모멘트는 증가한다. 편평외반족에서는 경직된 하퇴 삼두근으로 인해 족관절의 배부굴곡이 이루어지지 않고, 따라서 족관절 족저굴곡-슬관절 신전조합의 기능이 감소된다<sup>6</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>7,8</sup>. 과거 편평외반족에 대한 치료 후 방사선, 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>5,9</sup>. 또한, 편평외반족이 있는 뇌성마비 환아의 보행장애는 하퇴 삼두근의 작용 지렛대의 불균형 뿐만 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 병적보행을 보이는지를 분류하는 것이 우선 과제일 것이다.

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>. 그러나 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>10</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 측정 보다는 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 향후 편평외반족 환아의 치료 후 결과 분석에 필요한 기준을 제시하고자 하였다.



## II. 대상 및 방법

### 1. 연구대상

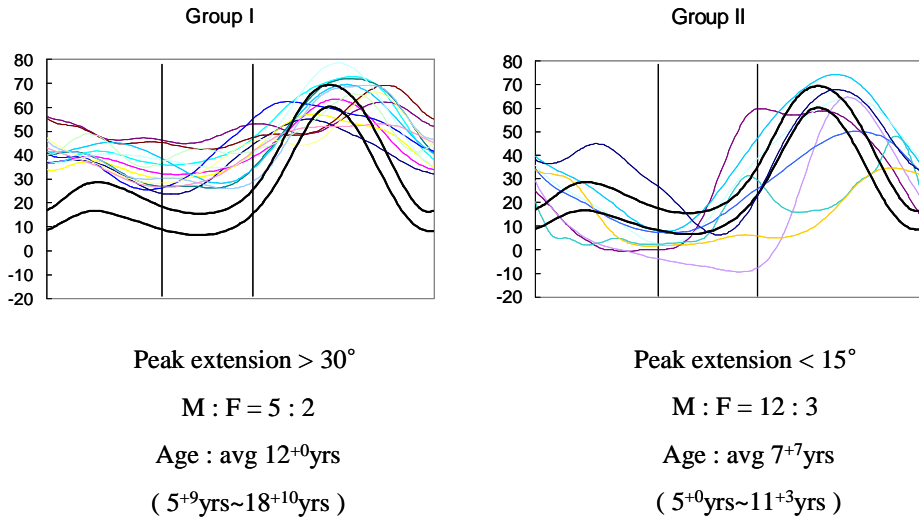
2003년 9월부터 2005년 9월까지 경직성 뇌성마비로 치료받은 환아 중 최소 만 5세 이상이면서 임상적 소견상 전족부 외전 및 후족부에 대한 회외전, 후족부 외반이 있으며 족저압 측정상 내측 족저압이 증가되어 있는 편평외반족 환아를 대상으로 하였다. 독립보행이 가능한 환아를 대상으로 하였으며 보행분석 검사상 보행이 불안정하여 모멘트의 측정 및 근-건 길이의 측정이 불가능한 환아는 제외하였다. 선택적 후방 신경근 절단술(selective posterior rhizotomy)을 시행하였거나 기타 뇌성마비에 관련된 다른 수술을 시행받은 환아는 제외하였으며 최소 6개월 이내 보툴리눔(Botulinium)등의 주사를 맞은 환아도 제외하였다. 또한 이학적 검사 및 컴퓨터 단층 촬영상 대퇴골 염전이 30도 이상인 환아 및 경골 외회전이 20도 이상, 내회전이 10도 이상인 환아는 제외하였다. 총 22명의 환아가 연구대상이었으며 남아가 17명, 여아가 5명이었다. 환아의 검사 당시 평균 연령은 12세(5세~18세)였다. 정상군은 5세에서 15세사이의 정상인 15명을 대상으로 측정하여 실험군과 비교하였다.

족관절 족저굴곡-슬관절 신전 복합체에 따른 보행의 분류를 위하여 중기 입각기의 슬관절 최대 신전각이 30도 이상으로 굴곡되어 슬관절 굴곡 보행을 보이는 환아를 제 1 군으로, 15도 이하로 굴곡되어 슬관절 과신전 보행을 보이는 환아를 제 2 군으로 분류하였다<sup>16</sup>. 제 1 군의 환아는 총 7명으로 남아가 5명 여아가 2명이었으며 평균연령은 12세(5년9개월~18세)이었다. 제 2 군의 환아는 총 15명으로 남아가 12명 여아가 3명이었고 평균연령은 7년7개월(5년~11년3개월)이었다(Table 1, Fig. 1).

Table 1. Patient data.

	Number	Sex	Years	Months	Side	Peak extension during midstance phase (Degrees)
<b>Group I</b>	1	F	10	4	Lt	30.71
					Rt	32.00
	2	M	13	0	Lt	30.40
					Rt	35.92
	3	M	11	11	Lt	44.80
					Rt	42.37
	4	F	5	9	Lt	30.33
					Rt	30.48
	5	M	18	10	Lt	31.27
					Rt	34.65
	6	M	14	1	Lt	34.99
					Rt	32.11
	7	M	10	0	Lt	30.11
					Rt	30.55
<b>Group II</b>	1	M	9	8	Lt	14.90
					Rt	6.41
	2	M	9	0	Lt	12.60
					Rt	14.10
	3	M	6	9	Lt	-0.80
					Rt	10.72
	4	M	5	3	Lt	14.25
					Rt	13.95
	5	F	7	0	Lt	7.72
					Rt	2.22
	6	M	11	3	Lt	-17.11
					Rt	-18.60
	7	M	5	2	Lt	13.80
					Rt	11.84
	8	M	5	7	Lt	-9.41
				Rt	4.77	
9	M	6	3	Lt	6.61	
				Rt	2.11	
10	M	10	11	Lt	-4.08	
				Rt	1.53	
11	M	10	3	Lt	-2.98	
				Rt	-3.69	
12	M	6	9	Lt	2.42	
				Rt	5.20	
13	F	5	0	Lt	2.68	
				Rt	2.68	
14	M	8	5	Lt	5.39	
				Rt	-0.40	
15	F	6	11	Lt	0.66	
				Rt	14.04	

Fig. 1. Groups by knee range of motion (several cases were not shown on these graphs).



## 2. 연구방법

편평외반족으로 인한 이상 족저압의 평가를 위해 Tekscan사의 F-scan (Foot scan, Tekscan High Resolution Pressure Assessment System ; Tekscan Inc., South Boston, MA, U.S.A)을 이용하여 역동적 족저압 기록(dynamic pedobarography)을 시행하였다. 환아의 몸무게와 족부 면적에 따른 차이를 보정하기 위해 전체 압력-시간 적분값(total pressure-time integral)에 대한 족부의 각 부분이 차지하는 비율인 비례 추진력(relative impulse, R.I.)을 무지(Hallux), 제 1 중족골두(1st metatarsal head), 제 2 중족골두(2nd metatarsal head), 제 3-4 중족골두(3-4th metatarsal head), 제 5 중족골두(5th metatarsal head), 내측 중족부(medial midfoot), 외측 중족부(lateral midfoot), 내측 종골(medial calcaneus), 외측 종골(lateral calcaneus)의 9곳에서 측정하였다<sup>11,12,13</sup>.

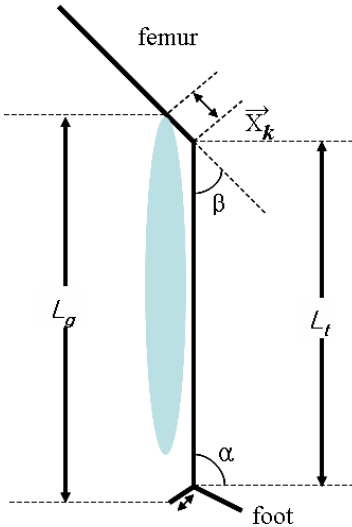
보행은 삼차원 보행분석기인 Vicon 370 Motion Analysis System (Oxford Metrics Inc., Oxford, U.K.)을 이용하여 시공간적인 지표(temporospatial data), 운동형상학적 지표(kinematic data) 및 운동역학적 지표(kinetic data)의 수술 전 후의 변화를 관찰하여 분석하였다. 13개의 수동 표식자를 각각 제 1 천추골, 양측 전상방 장골극, 대퇴골 외측면 중간지점, 대퇴골 외측 상과 직하방의 슬관절축, 비골 외측면의 중간지점, 외측 복사골, 두번째와 세번째 중족골 사이에 부착하였다. 검사 전 10미터 길이의 보도를 수차례 걷게 하여 자연스러운 보행을 유도하였고 검사하는 동안 최소 10차례의 보행을 시도하여 분석하였다<sup>14,15,16</sup>. 운동역학적 지표는 보도 중간에 숨겨져 있는 힘판(force plate)에서 기록되는 지면 반발력(ground reaction force)으로 측정되었고 이를 통한 관절의 모멘트는 내부 모멘트(internal moment)로 기록되었다.

보행주기 동안 골반과 고관절, 슬관절, 족관절, 족부의 운동형상학적 변화와 운동역학적 변화를 시상면(sagittal plane), 관상면(coronal plane), 횡단면(transverse plane)에서 측정하여 표시하였다. 운동형상학적 지표는 관절 운동각도(degree)로 측정되었으며 운동역학적 지표 중 모멘트

(moment)는  $N \cdot m/kg$ 으로 힘(power)은  $N/kg$ 으로 측정되었다.

근육의 길이와 수축 속도는 3차원 보행분석상에서 얻어진 운동형상학적 지표를 이용하여 컴퓨터 상에서 3차원 모델을 작성하고 이에 각 근육의 해부학적 위치를 입력하여 측정하였다. 근육의 길이는 재구성된 골격모델에서 측정된 대퇴골 및 경골의 길이를 기준으로 하였으며 골격이 이루는 각도 또한 재구성된 골격모델을 기준으로 하였다. 재구성된 골격모델하에서 각 근육의 기시부로부터 종지부까지의 길이를 측정하였다<sup>16</sup>(Fig. 2).

Fig. 2. Model for calculation of gastrocnemius muscle-tendon length (example of gastrocnemius. gastrocnemius muscle length was calculated for each subject with use of the two-dimensional, sagittal-plane musculoskeletal model)<sup>10,16</sup>.



$$L_g = L_t + \left\| \vec{R}_\alpha \vec{X}_\beta + \vec{R}_\beta \vec{X}_k \right\|$$

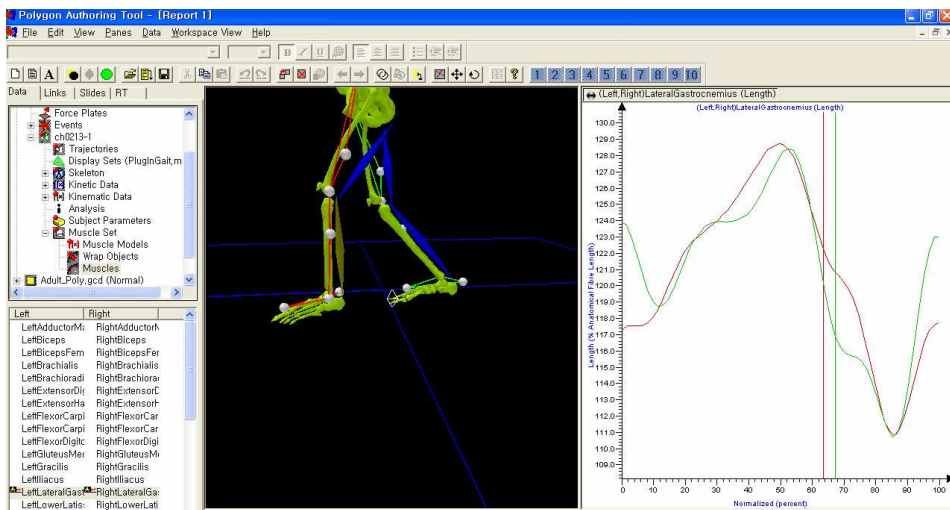
Where,

$$\vec{R}_i = \begin{bmatrix} \cos i & -\sin i \\ \sin i & \cos i \end{bmatrix}$$

[ $L_g$  = length of the gastrocnemius muscle-tendon insertion form the ankle joint center,  $X_n$  = vector moment arm of the gastrocnemius origin from the knee joint center, and  $R_i$ =vector rotation matrix about the ankle ( $i=\alpha$ ) and knee ( $i=\beta$ )]

근육의 길이와 속도는 보행주기 중 2%마다 측정되었는데, 근육의 길이는 설정된 3차원 모델에서 기시부와 종지부 사이의 거리로 측정되었다. 근육의 길이(muscle-tendon length)는 보행 중 실제 근육 길이의 변화와 휴지기의 길이에 대한 보행 중 근육 길이의 변화의 비로 나타내었으며, 근육의 수축 속도(muscle-tendon velocity)는 근육의 해부학적 길이 변화 속도와 최대 수축 속도에 대한 비로 계산하였다<sup>10,16,17</sup>. 중둔근(gluteus medius), 장골근(iliacus), 내전근(adductor), 대퇴 직근(rectus femoris), 사두근(vastus), 대퇴 이두근(biceps femoris), 반막양근(semimembranosus), 박근(gracilis), 비복근(gastrocnemius)의 근육의 길이와 속도를 측정하였으며 측정된 운동형상학적, 운동역학적, 근-건 길이 및 속도 변화는 보행주기의 각 2%마다 측정된 수치를 평균화 하여 각 군의 평균 보행 분석 그래프를 작성하였다(Fig. 3).

Fig. 3. Three dimensional musculo-skeletal model and measure of muscle length (on the basis of the kinematic data, gastrocnemius muscle length was calculated and measured at 2% intervals through the gait cycle).



개개의 환자에서 초기 접지기와 최고값, 최저값을 구하였으며, 각 군간 비교를 시행하였다. 통계 분석은 SPSS 11.0 for window version을 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.

### Ⅲ. 결과

#### 1. 편평외반족 환자의 보행분석

##### 가. 역동적 족저압 분석

편평외반족군에서 무지와 제 1 중족골두부, 내측 중족부의 비례 추진력이 증가되어 있었다( $P < 0.05$ ). 3,4,5 중족골두부와 외측 중족부, 종골부의 비례 추진력은 감소되어 있었다( $P < 0.05$ )(Table 2).

Table 2. Comparison of relative impulses between planovalgus group and normal group

<i>R.I.</i>	<i>Planovalgus</i>	<i>Normal</i>	<i>P value</i>
Hallux *	21.6% ± 11.0%	9.4% ± 5.4%	0.00
1st MT. *	17.7% ± 7.7%	10.1% ± 3.3%	0.00
2nd MT.	19.0% ± 6.7%	17.5% ± 6.3%	0.29
3-4th MT. *	12.9% ± 6.2%	16.5% ± 4.5%	0.00
5th MT. *	6.2% ± 4.6%	8.5% ± 3.3%	0.01
Lat Mid. *	4.0% ± 4.9%	6.0% ± 4.3%	0.05
Med Mid. *	8.8% ± 6.9%	0.1% ± 0.3%	0.00
Lat Cal. *	4.3% ± 4.5%	15.3% ± 5.2%	0.00
Med Cal. *	5.6% ± 6.0%	16.6% ± 5.1%	0.00

R.I. : relative impulse (%)

MT. : metatarsal head

Mid. : midfoot

Cal. : calcaneus

\*  $p < 0.05$  : Planovalgus vs Normal



나. 시공간적 지표

편평외반족군은 분속수는 정상군과 차이가 없었고 보행속도, 활보장등은 정상군보다 감소되어 있었다( $P < 0.05$ )(Table 3).

Table 3. Comparison of temporospatial parameters between planovalgus group and normal group

	<i>Planovalgus</i>	<i>Normal</i>	<i>P value</i>
<b>Cadence (steps/min)</b>	103.66 ± 36.72	106.00 ± 18.89	0.67
<b>Walking speed (m/s)*</b>	0.61 ± 0.27	1.16 ± 0.16	0.00
<b>Step length (m)*</b>	0.34 ± 0.13	0.61 ± 0.10	0.00
<b>Step time (s)</b>	0.72 ± 0.50	0.51 ± 0.04	0.01
<b>Step width (m)*</b>	0.24 ± 0.14	0.17 ± 0.07	0.00
<b>Stride length (m)*</b>	0.69 ± 0.26	1.23 ± 0.09	0.00
<b>Stride time (s)</b>	2.64 ± 8.02	1.02 ± 0.03	0.18
<b>Opposite foot contact (%)</b>	49.31 ± 6.05	49.90 ± 2.49	0.52
<b>Opposite foot off (%)*</b>	20.27 ± 11.89	11.50 ± 3.10	0.00
<b>Foot off (%)*</b>	69.13 ± 9.66	61.60 ± 8.18	0.00

\*  $p < 0.05$  : Planovalgus vs Normal

#### 다. 운동형상학적 분석

편평외반족군에서 골반 전방 경사가 정상군보다 증가되어 있었으며 고관절 최대 신전각 또한 정상군보다 감소되어 있었다( $P < 0.05$ ). 골반 좌우 경사는 정상군과 차이가 없었으나 유각기에 고관절의 외전이 증가되어 있었다. 그리고 골반 회전이 증가되어 있었으며, 고관절 회전각은 유각기에 내회전이 증가되어 있었다( $P < 0.05$ ).

편평외반족군에서 초기 접지기의 슬관절 굴곡이 증가되어 있었으며, 유각기 슬관절 굴곡이 감소되어 있었다( $P < 0.05$ ). 입각기 중 슬관절 외반이 증가되어 있었으며 유각기 중에는 내반이 증가되어 있었다( $P < 0.05$ ). 보행 중 정상군보다 슬관절의 내회전이 증가되어 있었다( $P < 0.05$ ).

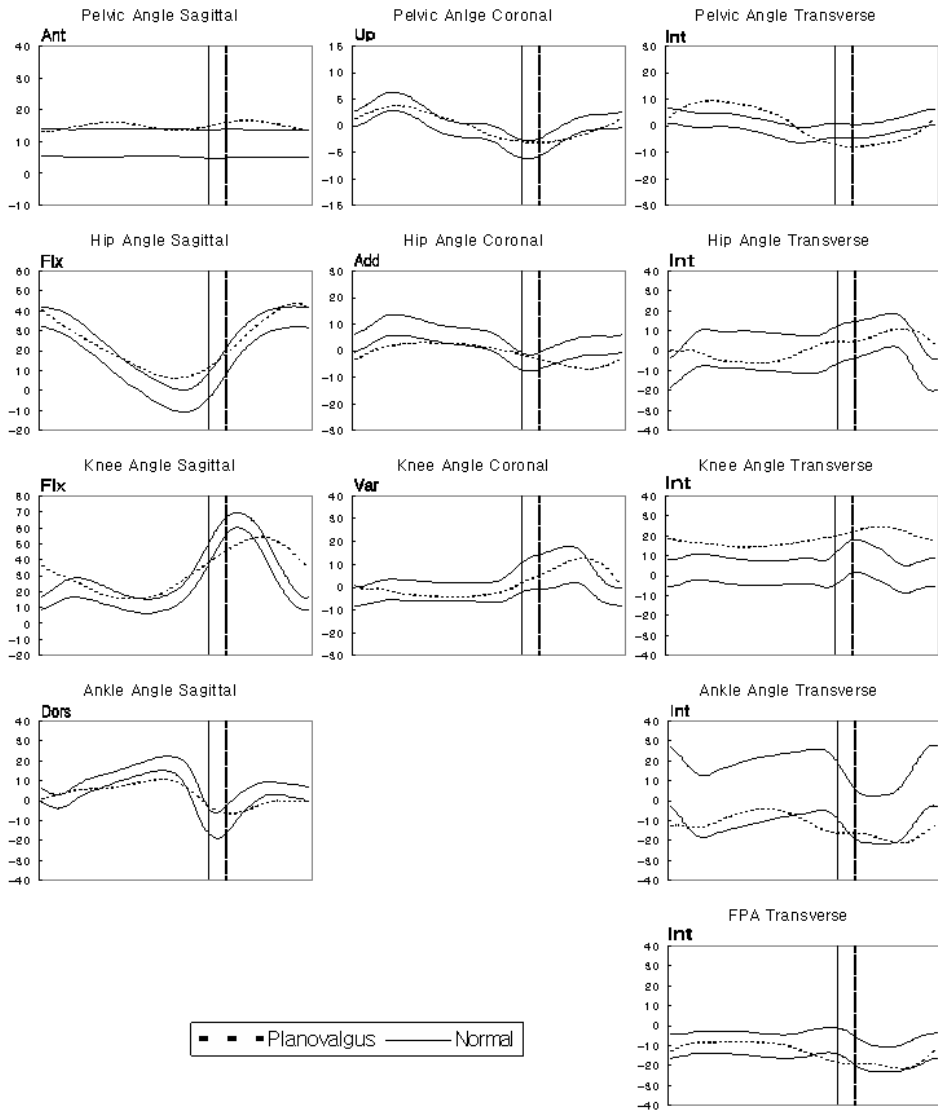
족관절의 최대 배부굴곡이 감소되어 있었으며( $P < 0.05$ ), 최대 족저굴곡은 정상군과 차이가 없었다. 족관절은 외회전되어 있었으며( $P < 0.05$ ), 족부 진행각은 입각기 중에는 정상군과 차이가 없었으나 유각기 중에는 외회전되어 있었다(Table 4, Fig. 4).

Table 4. Comparison of parameters of kinematics.

	<i>Parameters</i>	<i>Planovalgus</i>	<i>Normal</i>	<i>P value</i>
<b>Pelvis (degrees)</b>	Peak anterior tilt during stance*	19.29 ± 7.62	9.85 ± 4.28	0.04
	Peak posterior tilt during stance	10.29 ± 7.50	9.24 ± 4.41	0.36
	Peak up obliquity during stance	5.34 ± 4.16	4.62 ± 1.69	0.26
	Peak down obliquity during stance	-5.35 ± 4.31	-4.56 ± 1.69	0.23
	Peak internal rotation during stance*	13.13 ± 12.32	3.53 ± 2.88	0.03
	Peak external rotation during swing*	-11.60 ± 12.11	-3.51 ± 2.90	0.02
<b>Hip (degrees)</b>	Peak flexion during stance*	46.70 ± 8.27	36.98 ± 5.17	0.01
	Peak extension during stance *	3.41 ± 9.63	-5.12 ± 5.53	0.00
	Peak adduction during stance *	5.52 ± 6.40	9.74 ± 3.84	0.00
	Peak abduction during swing*	-9.70 ± 6.71	-4.52 ± 3.03	0.03
	Peak internal rotation during stance *	18.53 ± 10.54	10.37 ± 8.30	0.01
	Peak external rotation during swing	-12.08 ± 11.20	-12.21 ± 7.97	0.94
<b>Knee (degrees)</b>	Peak flexion during swing*	60.85 ± 11.63	64.61 ± 4.57	0.04
	Peak extension during stance	13.25 ± 15.75	11.00 ± 4.46	0.35
	Peak varus during stance*	18.57 ± 7.11	9.84 ± 7.98	0.04
	Peak valgus during swing*	-8.59 ± 5.23	-4.08 ± 3.89	0.00
	Peak internal rotation during swing*	27.65 ± 16.44	10.02 ± 8.05	0.00
	Peak external rotation during stance*	10.75 ± 16.82	-1.66 ± 6.83	0.01
<b>Ankle &amp; foot (degrees)</b>	Peak dorsiflexion during stance*	13.72 ± 7.10	18.66 ± 3.58	0.00
	Peak plantarflexion during stance	-11.11 ± 12.91	-12.21 ± 6.31	0.57
	Peak ankle internal rotation *	1.73 ± 18.75	12.71 ± 15.22	0.00
	Peak ankle external rotation during swing*	-27.30 ± 14.76	-9.53 ± 11.92	0.00
	Peak foot internal rotation during stance	-2.96 ± 26.45	-7.21 ± 6.36	0.29
	Peak foot external rotation during swing*	-28.31 ± 26.51	-17.01 ± 6.26	0.00

\* p < 0.05 : Planovalgus vs Normal

Fig. 4. Comparison of kinematics.



Angle : degrees

라. 운동역학적 분석

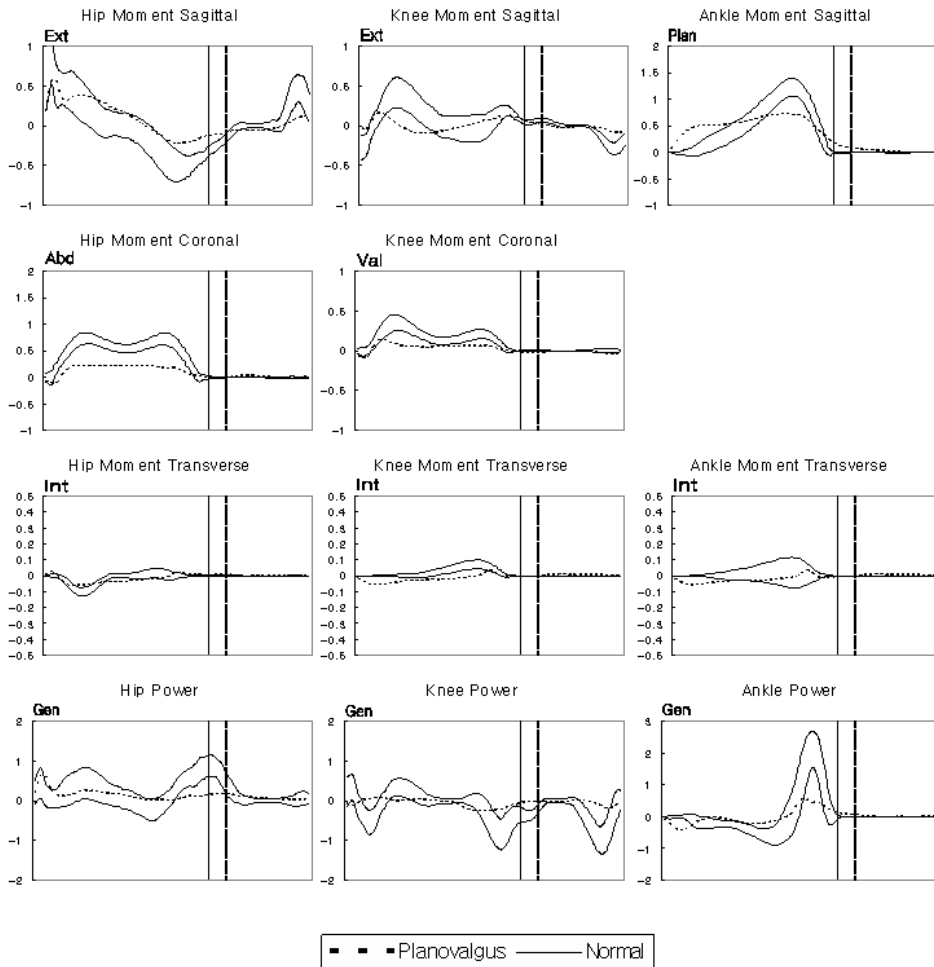
편평외반족군에서 고관절의 최대 굴곡 모멘트가 감소되어 있었으며 외전 모멘트 또한 감소되어 있었다( $P < 0.05$ ). 고관절의 힘은 정상군보다 감소되어 있었다( $P < 0.05$ ). 슬관절의 최대 신전 모멘트는 감소되어 있었으며 외반 모멘트도 감소되어 있었다( $P < 0.05$ ). 슬관절 힘은 감소되어 있었다( $P < 0.05$ ). 족관절의 족저굴곡 모멘트는 감소되어 있었으며 힘도 감소되어 있었다( $P < 0.05$ )(Table 5, Fig. 5).

Table 5. Comparison of parameters of kinetics during stance phase.

		<i>Planovalgus</i>	<i>Normal</i>	<i>P value</i>	
<b>Hip</b>	<i>Sagittal</i>	Peak extension	0.79 ± 0.49	0.81 ± 0.30	0.75
	( <i>N·m/kg</i> )	Peak flexion *	-0.36 ± 0.22	-0.51 ± 0.14	0.00
	<i>Coronal</i>	Peak abduction *	0.47 ± 0.44	0.74 ± 0.11	0.00
	( <i>N·m/kg</i> )	Peak adduction *	-0.25 ± 0.23	-0.01 ± 0.02	0.00
	<i>Transverse</i>	Peak internal rotation *	0.12 ± 0.14	0.02 ± 0.03	0.00
	( <i>N·m/kg</i> )	Peak external rotation *	-0.12 ± 0.07	-0.10 ± 0.03	0.01
	<i>Power</i>	Generation	1.04 ± 0.72	0.89 ± 0.28	0.17
	( <i>N/kg</i> )	Absorption	-0.28 ± 0.30	-0.23 ± 0.26	0.20
<b>Knee</b>	<i>Sagittal</i>	Peak extension *	0.34 ± 0.21	0.41 ± 0.19	0.03
	( <i>N·m/kg</i> )	Peak flexion	-0.31 ± 0.29	-0.28 ± 0.07	0.48
	<i>Coronal</i>	Peak valgus	0.31 ± 0.26	0.35 ± 0.10	0.30
	( <i>N·m/kg</i> )	Peak varus *	-0.22 ± 0.14	-0.01 ± 0.01	0.00
	<i>Transverse</i>	Peak internal rotation	0.09 ± 0.22	0.07 ± 0.03	0.53
	( <i>N·m/kg</i> )	Peak external rotation *	-0.10 ± 0.07	0.00 ± 0.00	0.00
	<i>Power</i>	Generation *	0.48 ± 0.43	0.34 ± 0.31	0.03
( <i>N/kg</i> )	Absorption *	-0.77 ± 0.56	-0.97 ± 0.34	0.02	
<b>Ankle</b>	<i>Sagittal</i>	Peak dorsiflexion *	0.92 ± 0.46	1.22 ± 0.17	0.01
	( <i>N·m/kg</i> )	Peak plantarflexion	-0.04 ± 0.08	-0.02 ± 0.01	0.44
	<i>Transverse</i>	Peak internal rotation	0.10 ± 0.26	0.02 ± 0.09	0.17
	( <i>N·m/kg</i> )	Peak external rotation *	-0.11 ± 0.06	0.00 ± 0.00	0.01
	<i>Power</i>	Generation *	1.18 ± 2.16	2.10 ± 0.57	0.00
( <i>N/kg</i> )	Absorption *	-0.74 ± 0.65	-0.60 ± 0.23	0.01	

\*  $p < 0.05$  : Planovalgus vs Normal

Fig. 5. Comparison of kinetics.



Moment : N·m/kg

Power : N/Kg

마. 근-건 길이 분석

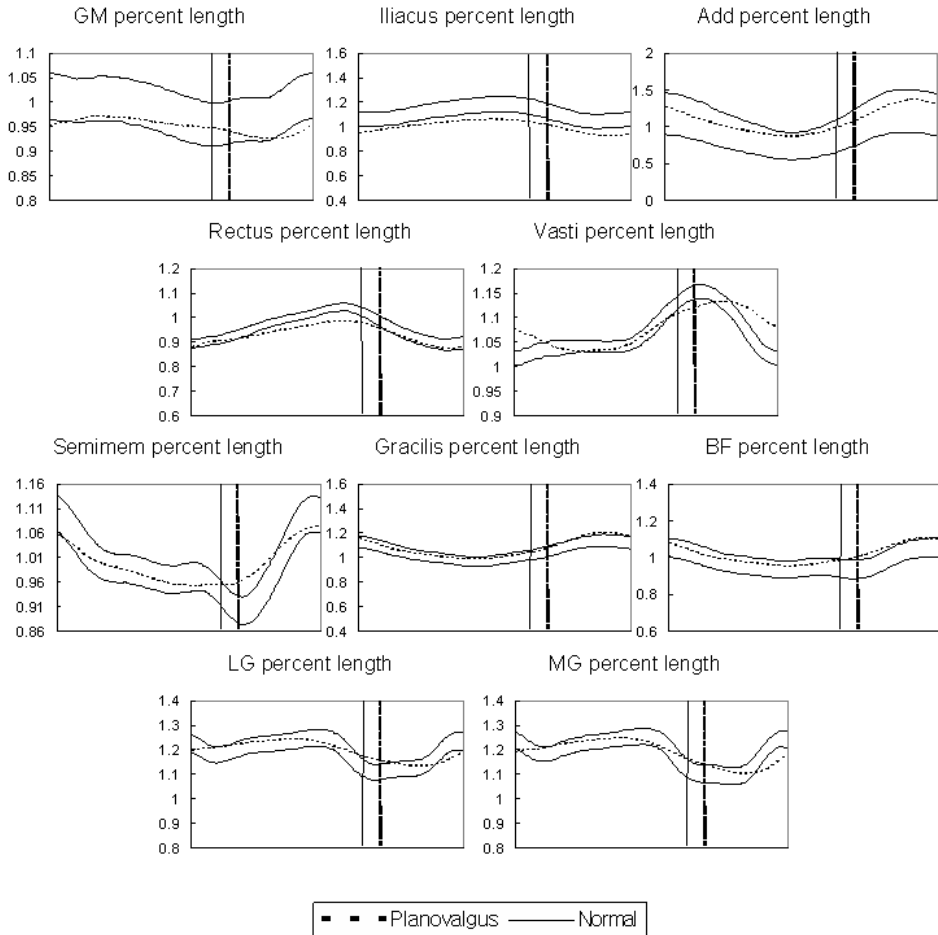
편평외반족 군은 장골근과 중둔근의 길이가 정상군보다 짧았으며 내전근의 길이는 정상군보다 길게 나타났다( $P < 0.05$ ). 대퇴 직근의 길이는 정상군보다 짧았으며 반막양근은 유각기 최대 수축이 정상보다 감소되어 있었다( $P < 0.05$ ). 박근과 대퇴 이두근은 정상군보다 길이가 증가되어 있었다( $P < 0.05$ ). 비복근의 내외측 모두 길이는 정상군과 차이가 없었다 (Table 6, Fig. 6).

Table 6. Comparison of parameters of percent muscle lengths (Ratio).

	<i>Parameters</i>	<i>Planovalgus</i>	<i>Normal</i>	<i>P value</i>
<b>Gluteus medius</b>	Maximum length(stance)*	0.98 ± 0.07	1.02 ± 0.05	0.01
	Minimum length.swing)*	0.91 ± 0.07	0.95 ± 0.04	0.00
<b>Iliacus</b>	Maximum length(stance)*	1.07 ± 0.11	1.19 ± 0.06	0.00
	Minimum length (swing)*	0.91 ± 0.09	1.04 ± 0.06	0.00
<b>Adductor</b>	Maximum length.swing)*	1.39 ± 0.36	1.22 ± 0.29	0.04
	Minimum length(stance)*	0.84 ± 0.22	0.73 ± 0.18	0.04
<b>Rectus</b>	Maximum length(stance)*	0.99 ± 0.04	1.04 ± 0.01	0.00
	Minimum length.swing)*	0.86 ± 0.03	0.89 ± 0.02	0.00
<b>Vasti</b>	Maximum length.swing)	1.16 ± 0.02	1.15 ± 0.01	0.89
	Minimum length(stance)	1.02 ± 0.04	1.01 ± 0.01	0.28
<b>Semimembranosus</b>	Maximum length(stance)	1.08 ± 0.07	1.11 ± 0.04	0.08
	Minimum length.swing)*	0.93 ± 0.05	0.90 ± 0.03	0.00
<b>Gracilis</b>	Maximum length.swing)*	1.22 ± 0.09	1.15 ± 0.05	0.00
	Minimum length(stance)	0.97 ± 0.06	0.96 ± 0.04	0.51
<b>Biceps femoris</b>	Maximum length.swing)*	1.11 ± 0.08	1.06 ± 0.05	0.00
	Minimum length(stance)	0.94 ± 0.06	0.93 ± 0.05	0.28
<b>Medial gastrocnemius</b>	Maximum length(stance)	1.26 ± 0.09	1.26 ± 0.04	0.99
	Minimum length (swing)	1.07 ± 0.07	1.09 ± 0.03	0.52
<b>Lateral gastrocnemius</b>	Maximum length(stance)	1.26 ± 0.09	1.26 ± 0.04	0.97
	Minimum length (swing)	1.11 ± 0.07	1.10 ± 0.03	0.41

\*  $p < 0.05$  : Planovalgus vs Normal

Fig. 6. Comparison of muscle lengths (Ratio).



GM : gluteus medius

Add : adductor

BF : biceps femori

LG : lateral gastrocnemius

MG : medial gastrocnemius



바. 근-건 속도 분석

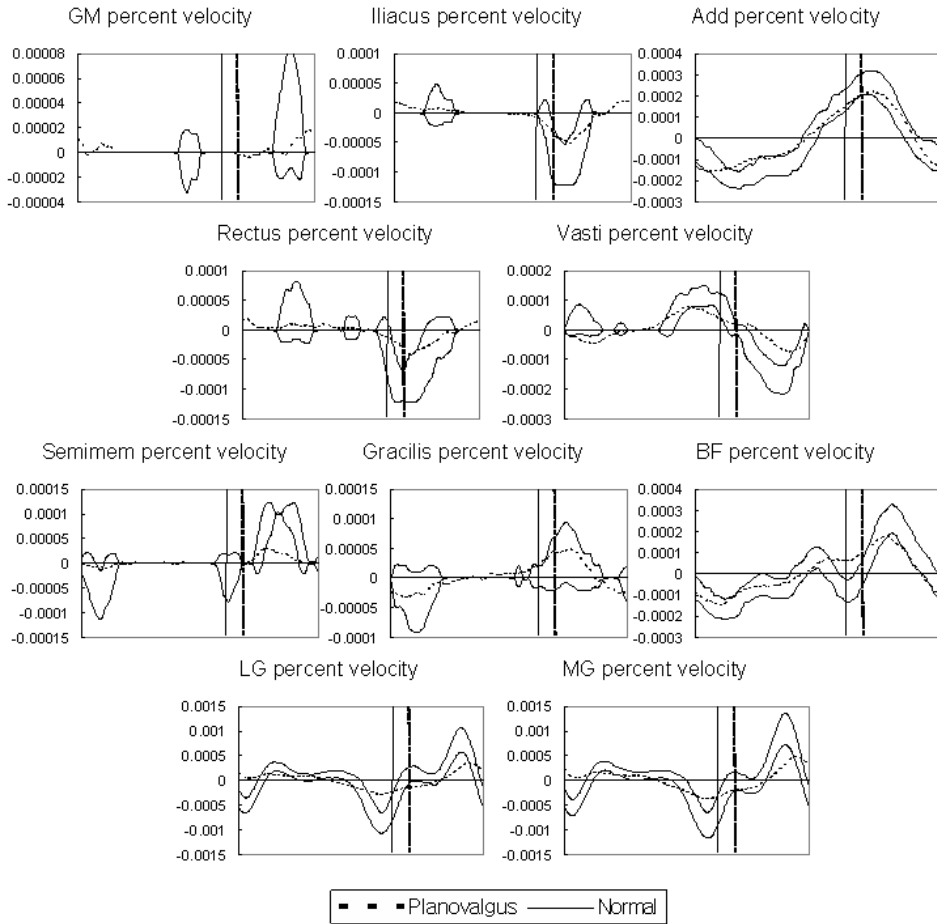
편평외반족군에서 장골근의 입각기 수축속도 및 유각기의 이완속도가 정상군보다 감소되어 있었다( $P < 0.05$ ). 중둔근과 내전근의 속도는 정상군과 차이가 없었다. 대퇴직근과 사두근의 유각기 최대 수축 속도가 감소되어 있었다( $P < 0.05$ ). 반막양근과 박근, 대퇴 이두근은 유각기 최대 이완속도가 정상보다 감소되어 있었다( $P < 0.05$ ). 비복근은 내외측 모두 길이는 정상군과 차이가 없었으나 최대 이완속도와 수축속도가 정상보다 감소되어 있었다( $P < 0.05$ )(Table 7, Fig. 7).

Table 7. Comparison of parameters of percent muscle velocities (Ratio).

	<i>Parameters</i>	<i>Planovalgus</i>	<i>Normal</i>	<i>P value</i>
<b>Gluteus medius</b>	Maximum velocity(swing)	0.00003 ± 0.00005	0.00004 ± 0.00005	0.32
	Minimum velocity(swing)	-0.00001 ± 0.00003	-0.00001 ± 0.00002	0.51
<b>Iliacus</b>	Maximum velocity(stance) <sup>†</sup>	0.00004 ± 0.00005	0.00002 ± 0.00004	0.04
	Minimum velocity(swing)*	-0.00006 ± 0.00005	-0.00009 ± 0.00003	0.00
<b>Adductor</b>	Maximum velocity(swing)	0.00028 ± 0.00011	0.00027 ± 0.00006	0.71
	Minimum velocity(stance)	-0.00023 ± 0.00009	-0.00020 ± 0.00003	0.23
<b>Rectus</b>	Maximum velocity(stance)	0.00004 ± 0.00005	0.14190 ± 0.02680	0.93
	Minimum velocity(swing)*	-0.00006 ± 0.00005	-0.21067 ± 0.03846	0.00
<b>Vasti</b>	Maximum velocity(stance)	0.00013 ± 0.00006	0.16237 ± 0.02804	0.27
	Minimum velocity(swing)*	-0.00012 ± 0.00004	-0.21800 ± 0.03876	0.00
<b>Semimembranosus</b>	Maximum velocity(swing) <sup>‡</sup>	0.00004 ± 0.00005	0.27867 ± 0.04890	0.00
	Minimum velocity(stance)*	-0.00002 ± 0.00004	-0.19167 ± 0.03550	0.00
<b>Gracilis</b>	Maximum velocity(swing) <sup>‡</sup>	0.00008 ± 0.00005	0.14377 ± 0.03734	0.04
	Minimum velocity(stance)	-0.00006 ± 0.00005	-0.14133 ± 0.03050	0.84
<b>Biceps femoris</b>	Maximum velocity(swing) <sup>‡</sup>	0.00022 ± 0.00011	0.19833 ± 0.04220	0.03
	Minimum velocity(stance)*	-0.00021 ± 0.00010	-0.13420 ± 0.02665	0.03
<b>Medial gastrocnemius</b>	Maximum velocity(swing) <sup>‡</sup>	0.00000 ± 0.00000	0.37000 ± 0.10000	0.00
	Minimum velocity(stance)*	0.00000 ± 0.00000	-0.34000 ± 0.08000	0.00
<b>Lateral gastrocnemius</b>	Maximum velocity(swing) <sup>‡</sup>	0.00000 ± 0.00000	0.29000 ± 0.08000	0.00
	Minimum velocity(stance)*	0.00000 ± 0.00000	-0.32000 ± 0.07000	0.00

\*  $p < 0.05$  : Planovalgus vs Normal

Fig. 7. Comparison of muscle velocities (Ratio).



GM : gluteus medius

Add : adductor

BF : biceps femori

LG : lateral gastrocnemius

MG : medial gastrocnemius

## 2. 슬관절 신전에 따른 분류에 의한 두 군의 보행분석

### 가. 역동적 족저압 분석

편평외반족 변형 정도가 두 군의 병적 보행양상의 차이를 일으키는 요소 인지를 알기위해서 시행한 두 군간 비례 추진력 비교시 통계상 의미있는 차이는 없었다(Table 8).

Table 8. Comparison of relative impulses.

<i>R.I.</i>	<i>Group I</i>	<i>Group II</i>	<i>P value</i>
Hallux	23.8% ± 11.6%	20.7% ± 10.8%	0.63
1st MT.	16.0% ± 6.8%	18.4% ± 8.1%	0.26
2nd MT.	17.6% ± 7.1%	19.5% ± 6.6%	0.29
3-4th MT.	14.2% ± 5.7%	12.4% ± 6.4%	0.27
5th MT.	6.5% ± 3.5%	6.1% ± 5.0%	0.55
Lat Mid.	4.9% ± 5.8%	3.6% ± 4.5%	0.37
Med Mid.	6.9% ± 4.9%	9.5% ± 7.5%	0.27
Lat Cal.	4.6% ± 5.2%	4.2% ± 4.2%	0.99
Med Cal.	5.5% ± 6.8%	5.6% ± 5.7%	0.86

R.I. : relative impulse (%)

MT. : metatarsal head

Mid. : midfoot

Cal. : calcaneus

나. 시공간적 지표

두 군간 분속, 보행속도 등 시공간적 지표에서 통계상 의미있는 차이는 없었다(Table 9).

Table 9. Comparison of temporospatial parameters.

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

#### 다. 운동형상학적 분석

콜반의 시상면, 관상면, 횡단면상에는 두 군간 차이가 없었다. 제 1 군에서 고관절 신전이 감소되어 있었고 제 2 군에서는 유각기 최대 외전이 제 1 군보다 증가되어 있었다( $P < 0.05$ ). 고관절 회전에는 두 군간 차이가 없었다.

제 1 군에서 슬관절의 신전이 감소되어 있었으며 굴곡은 증가되어 있었고 내회전은 제 1 군에서 더 증가되어 있었다( $P < 0.05$ ).

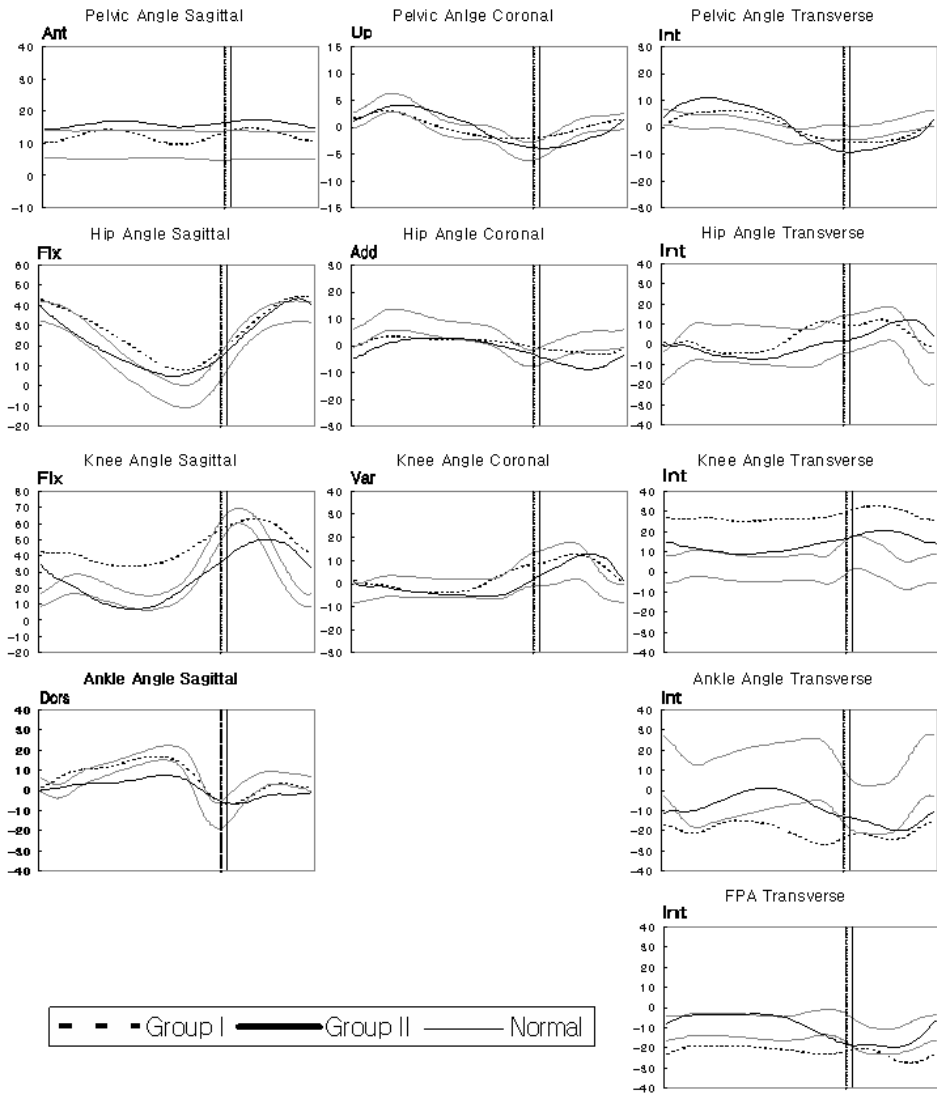
족관절의 입각기 배부 굴곡은 제 2 군에서 더 감소되어 있었고 족관절 외회전은 제 1 군에서 더 증가되어 있었다( $P < 0.05$ )(Table 10, Fig. 8).

Table 10. Comparison of parameters of kinematics.

	<i>Parameters</i>	<i>Group I</i>	<i>Group II</i>	<i>P value</i>
<b>Pelvis (degrees)</b>	Peak anterior tilt during stance	16.32 ± 5.16	20.68 ± 8.24	0.18
	Peak posterior tilt during stance	7.58 ± 5.84	11.55 ± 7.94	0.13
	Peak up obliquity during stance	4.55 ± 4.27	5.70 ± 4.14	0.43
	Peak down obliquity during stance	-4.32 ± 4.07	-5.83 ± 4.39	0.36
	Peak internal rotation during stance	9.92 ± 7.87	14.63 ± 13.78	0.22
	Peak external rotation during swing	-9.21 ± 8.93	-12.72 ± 13.32	0.42
<b>Hip (degrees)</b>	Peak flexion during stance	45.77 ± 6.28	47.14 ± 9.12	0.90
	Peak extension during stance *	7.09 ± 7.52	1.70 ± 10.13	0.05
	Peak adduction during stance	5.79 ± 6.44	5.39 ± 6.49	0.61
	Peak abduction during swing*	-6.01 ± 5.41	-11.42 ± 6.62	0.01
	Peak internal rotation during stance	17.00 ± 9.39	19.24 ± 11.11	0.42
	Peak external rotation during swing	-9.26 ± 6.90	-13.39 ± 12.61	0.36
<b>Knee (degrees)</b>	Peak flexion during swing*	65.39 ± 7.14	58.72 ± 12.77	0.05
	Peak extension during stance*	31.41 ± 6.43	3.78 ± 8.74	0.00
	Peak varus during stance	18.37 ± 5.57	18.66 ± 7.82	0.63
	Peak valgus during swing	-7.88 ± 4.46	-8.92 ± 5.60	0.46
	Peak internal rotation during swing	34.13 ± 18.82	24.62 ± 14.58	0.10
	Peak external rotation during stance*	21.90 ± 17.03	5.54 ± 14.19	0.01
<b>Ankle &amp; foot (degrees)</b>	Peak dorsiflexion during stance*	18.26 ± 6.69	11.60 ± 6.34	0.00
	Peak plantarflexion during stance	-9.97 ± 14.43	-11.64 ± 12.36	0.39
	Peak ankle internal rotation*	-9.23 ± 11.32	6.85 ± 19.46	0.00
	Peak ankle external rotation during swing	-30.84 ± 11.57	-25.65 ± 15.94	0.42
	Peak foot internal rotation during stance	-13.71 ± 39.32	2.06 ± 16.20	0.26
	Peak foot external rotation during swing	-33.75 ± 37.51	-25.77 ± 19.76	0.96

\* p < 0.05 : Group I vs Group II

Fig. 8. Comparison of kinematics.



Angle : degrees

라. 운동역학적 분석

고관절의 최대 신전 모멘트와 슬관절의 최대 신전 모멘트는 제 1 군에서 더 증가되어 있었다( $P < 0.05$ ). 족관절의 최대 족저 굴곡 모멘트는 제 1 군에서 더 증가되어 있었다( $P < 0.05$ )(Table 11, Fig. 9).

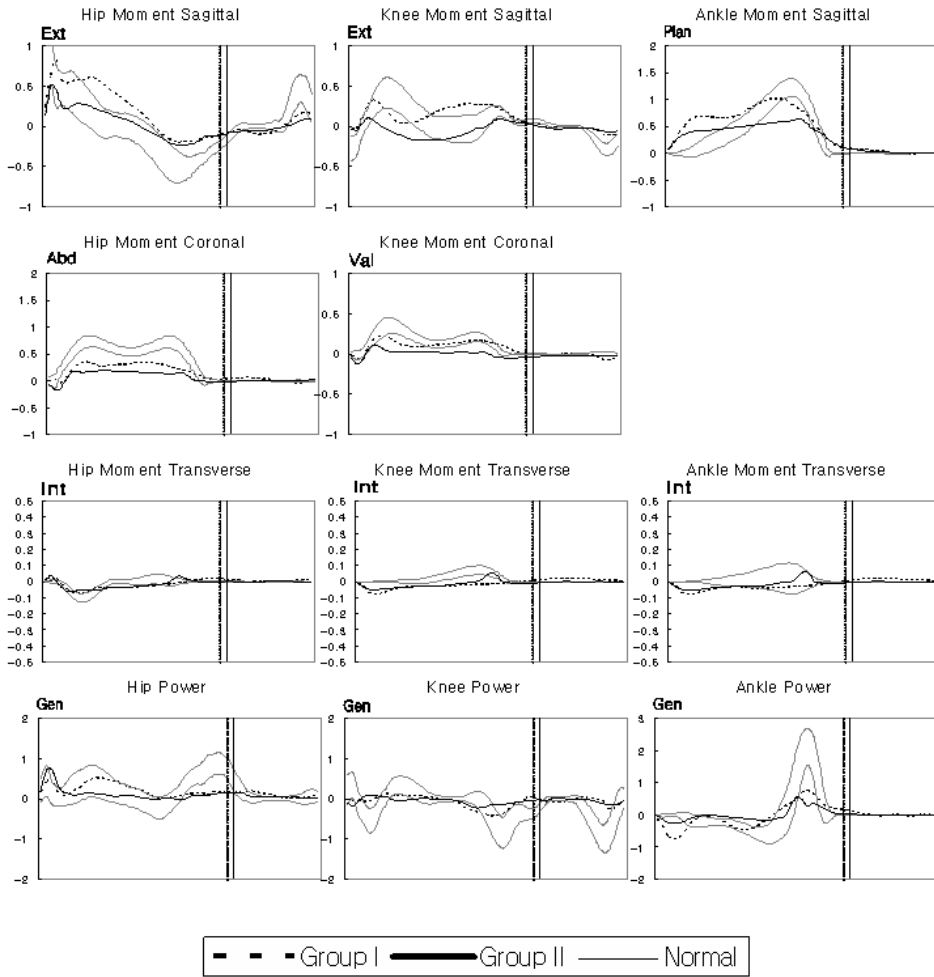
Table 11. Comparison of parameters of kinetics during stance phase.

		<i>Group I</i>	<i>Group II</i>	<i>P value</i>	
<b>Hip</b>	<i>Sagittal</i> ( <i>N·m/kg</i> )	Peak extension *	1.03 ± 0.51	0.67 ± 0.44	0.04
		Peak flexion	-0.36 ± 0.20	-0.36 ± 0.24	0.12
	<i>Coronal</i> ( <i>N·m/kg</i> )	Peak abduction	0.52 ± 0.34	0.44 ± 0.49	0.23
		Peak adduction	-0.25 ± 0.27	-0.26 ± 0.22	0.08
	<i>Transverse</i> ( <i>N·m/kg</i> )	Peak internal rotation	0.12 ± 0.09	0.11 ± 0.16	0.09
		Peak external rotation	-0.14 ± 0.08	-0.11 ± 0.07	0.10
	<i>Power</i> ( <i>N/kg</i> )	Generation	0.85 ± 0.51	1.12 ± 0.79	0.20
		Absorption	-0.23 ± 0.21	-0.31 ± 0.33	0.12
<b>Knee</b>	<i>Sagittal</i> ( <i>N·m/kg</i> )	Peak extension *	0.46 ± 0.18	0.28 ± 0.20	0.01
		Peak flexion	-0.18 ± 0.08	-0.37 ± 0.33	0.23
	<i>Coronal</i> ( <i>N·m/kg</i> )	Peak valgus	0.38 ± 0.22	0.28 ± 0.27	0.10
		Peak varus	-0.23 ± 0.17	-0.21 ± 0.12	0.09
	<i>Transverse</i> ( <i>N·m/kg</i> )	Peak internal rotation	0.06 ± 0.07	0.11 ± 0.26	0.24
		Peak external rotation	-0.12 ± 0.08	-0.09 ± 0.05	0.65
	<i>Power</i> ( <i>N/kg</i> )	Generation	0.48 ± 0.43	0.48 ± 0.43	0.28
		Absorption	-0.80 ± 0.39	-0.76 ± 0.63	0.42
<b>Ankle</b>	<i>Sagittal</i> ( <i>N·m/kg</i> )	Peak dorsiflexion *	1.21 ± 0.36	0.79 ± 0.45	0.00
		Peak plantarflexion	-0.08 ± 0.13	-0.02 ± 0.03	0.10
	<i>Transverse</i> ( <i>N·m/kg</i> )	Peak internal rotation	0.06 ± 0.06	0.12 ± 0.31	0.56
		Peak external rotation	-0.13 ± 0.08	-0.09 ± 0.05	0.47
	<i>Power</i> ( <i>N/kg</i> )	Generation	1.30 ± 0.76	1.13 ± 2.58	0.50
	Absorption	-1.03 ± 0.75	-0.60 ± 0.57	0.49	

\*  $p < 0.05$  : Group I vs Group II



Fig. 9. Comparison of kinetics.



Moment :  $N \cdot m/kg$

Power :  $N/Kg$

마. 근-건 길이 분석

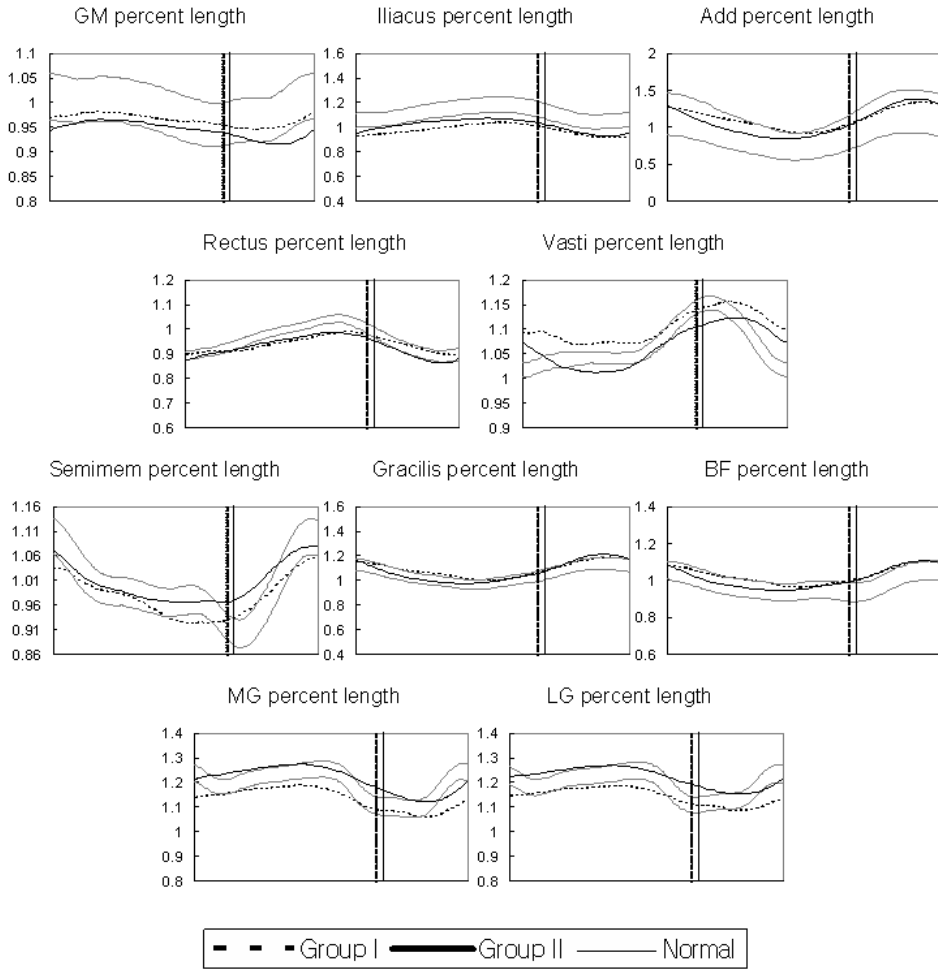
장골근, 내전근, 중둔근의 길이는 두 군간 차이가 없었다. 슬관절 굴곡근의 길이는 두 군간 차이가 없었고 제 1 군에서 대퇴 직근의 유각기 최대 수축 길이가 제 2 군보다 길었다( $P < 0.05$ ). 사두근은 제 2 군에서 길이가 더 짧았으며 비복근의 길이는 제 1 군에서 더 짧았다( $P < 0.05$ ) (Table 12, Fig. 10).

Table 12. Comparison of parameters of percent muscle lengths (Ratio).

	<i>Parameters</i>	<i>Group I</i>	<i>Group II</i>	<i>P value</i>
<b>Gluteus medius</b>	Maximum length(stance)	0.99 ± 0.06	0.98 ± 0.08	0.49
	Minimum length(swing)	0.93 ± 0.06	0.90 ± 0.07	0.33
<b>Iliacus</b>	Maximum length(stance)	1.04 ± 0.10	1.08 ± 0.11	0.12
	Minimum length (swing)	0.91 ± 0.08	0.91 ± 0.10	0.32
<b>Adductor</b>	Maximum length(swing)	1.32 ± 0.28	1.42 ± 0.39	0.22
	Minimum length(stance)	0.90 ± 0.20	0.80 ± 0.23	0.47
<b>Rectus</b>	Maximum length(stance)	0.99 ± 0.03	1.00 ± 0.04	0.51
	Minimum length(swing)*	0.89 ± 0.03	0.85 ± 0.03	0.00
<b>Vasti</b>	Maximum length(swing)	1.16 ± 0.02	1.15 ± 0.02	0.23
	Minimum length(stance)*	1.06 ± 0.02	1.00 ± 0.03	0.00
<b>Semimembranosus</b>	Maximum length(stance)	1.06 ± 0.05	1.10 ± 0.07	0.71
	Minimum length(swing)*	0.92 ± 0.04	0.94 ± 0.05	0.00
<b>Gracilis</b>	Maximum length(swing)	1.19 ± 0.06	1.24 ± 0.10	0.12
	Minimum length(stance)	0.99 ± 0.04	0.96 ± 0.06	0.06
<b>Biceps femoris</b>	Maximum length(swing)	1.10 ± 0.06	1.12 ± 0.08	0.52
	Minimum length(stance)	0.96 ± 0.05	0.93 ± 0.06	0.21
<b>Medial gastrocnemius</b>	Maximum length(stance)*	1.20 ± 0.06	1.29 ± 0.09	0.00
	Minimum length (swing)*	1.04 ± 0.05	1.09 ± 0.07	0.02
<b>Lateral gastrocnemius</b>	Maximum length(stance)*	1.19 ± 0.06	1.29 ± 0.09	0.00
	Minimum length (swing)*	1.08 ± 0.05	1.13 ± 0.07	0.01

\*  $p < 0.05$  : Group I vs Group II

Fig. 10. Comparison of muscle lengths (Ratio).



바. 근-건 속도 분석

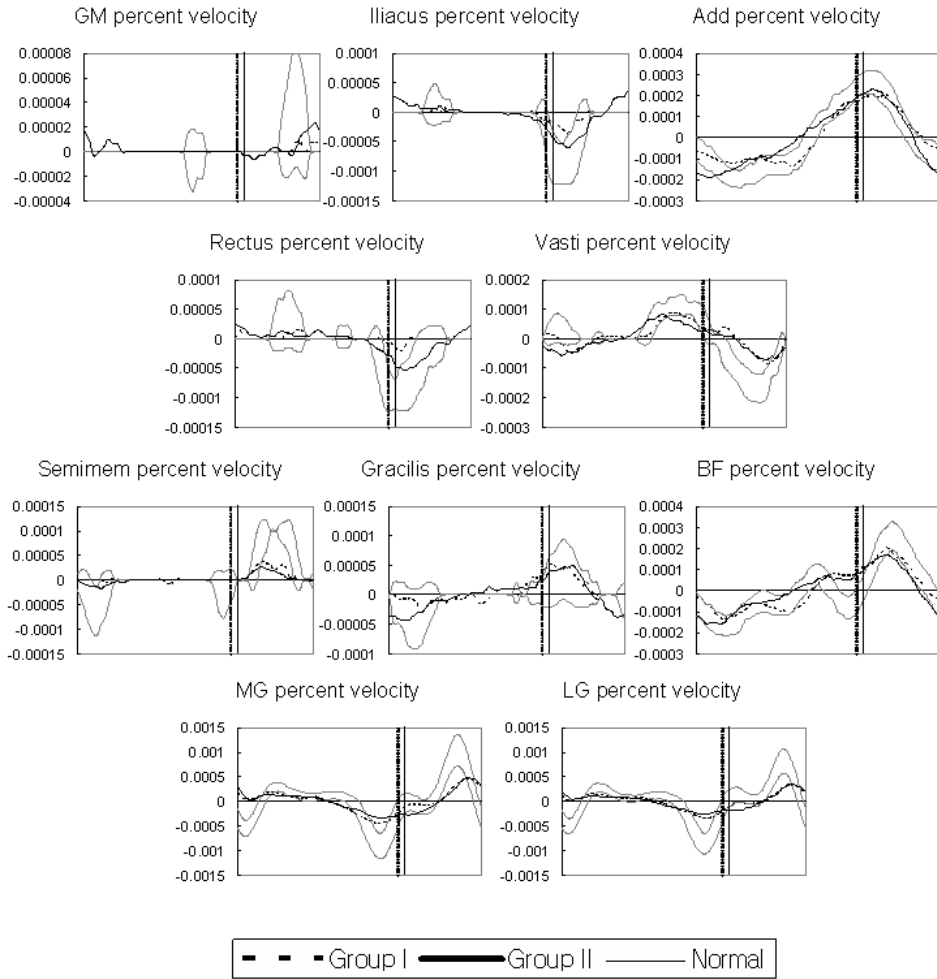
장골근의 수축 및 이완 속도는 제 1 군에서 더 감소되어 있었다( $P < 0.05$ ). 슬관절 굴곡근의 속도는 두 군간 차이가 없었고 제 1 군에서 대퇴 직근의 속도는 수축, 이완 모두 감소되어 있었다( $P < 0.05$ ). 비복근의 속도는 두 군간 차이가 없었다(Table 13, Fig. 11).

Table 13. Comparison of parameters of percent muscle velocities (Ratio).

<i>Parameters</i>		<i>Group I</i>	<i>Group II</i>	<i>P value</i>
<b>Gluteus medius</b>	Maximum velocity(swing)	0.00001 ± 0.00004	0.00004 ± 0.00005	0.45
	Minimum velocity(swing)	0.00000 ± 0.00000	-0.00002 ± 0.00004	0.21
<b>Iliacus</b>	Maximum velocity(stance)*	0.00001 ± 0.00003	0.00005 ± 0.00005	0.01
	Minimum velocity(swing)*	-0.00004 ± 0.00005	-0.00007 ± 0.00005	0.04
<b>Adductor</b>	Maximum velocity(swing)	0.00025 ± 0.00012	0.00030 ± 0.00011	0.16
	Minimum velocity(stance)*	-0.00016 ± 0.00005	-0.00025 ± 0.00010	0.00
<b>Rectus</b>	Maximum velocity(stance)*	0.00001 ± 0.00004	0.00005 ± 0.00005	0.01
	Minimum velocity(swing)*	-0.00002 ± 0.00004	-0.00008 ± 0.00005	0.00
<b>Vasti</b>	Maximum velocity(stance)	0.00011 ± 0.00005	0.00013 ± 0.00007	0.35
	Minimum velocity(swing)	-0.00011 ± 0.00003	-0.00012 ± 0.00005	0.23
<b>Semimembranosus</b>	Maximum velocity(swing)	0.00004 ± 0.00005	0.00004 ± 0.00005	0.86
	Minimum velocity(stance)	-0.00001 ± 0.00004	-0.00003 ± 0.00004	0.36
<b>Gracilis</b>	Maximum velocity(swing)	0.00008 ± 0.00006	0.00007 ± 0.00004	0.82
	Minimum velocity(stance)	-0.00004 ± 0.00005	-0.00007 ± 0.00005	0.18
<b>Biceps femoris</b>	Maximum velocity(swing)	0.00021 ± 0.00013	0.00022 ± 0.00009	0.61
	Minimum velocity(stance)	-0.00017 ± 0.00005	-0.00023 ± 0.00011	0.06
<b>Medial gastrocnemius</b>	Maximum velocity(swing)	0.00068 ± 0.00022	0.00067 ± 0.00024	0.93
	Minimum velocity(stance)	-0.00074 ± 0.00016	-0.00069 ± 0.00026	0.48
<b>Lateral gastrocnemius</b>	Maximum velocity(swing)	0.00050 ± 0.00018	0.00049 ± 0.00019	0.96
	Minimum velocity(stance)	-0.00054 ± 0.00010	-0.00053 ± 0.00021	0.87

\*  $p < 0.05$  : Group I vs Group II

Fig. 11. Comparison of muscle velocities (Ratio).



#### IV. 고찰

편평외반족 환자의 보행은 시상면상에서 골반의 전방경사 증가, 고관절 신전의 감소, 슬관절 초기 굴곡 및 유각기 굴곡 감소, 족관절 배부 굴곡의 감소를 보였다. 관상면상에서는 입각기 중 고관절의 외전 및 슬관절의 외반을 보였으며, 횡단면상에서는 골반의 회전 증가 및 입각기 중 슬관절의 내회전, 족관절의 외회전을 보였는데 이러한 운동형상학적 결과는 과거의 보행 분석 결과와 일치한다<sup>5</sup>.

시상면상에서의 보행 분석은 슬관절의 운동 범위 감소로 슬관절 굴곡 보행(crouch gait)보다는 슬관절 경직 보행(stiff gait)의 양상을 보였다. 또한 근-건 길이 및 속도의 변화를 보면 슬관절 굴곡근의 유각기 이완 속도가 감소되어 있으며 슬관절 신전근의 유각기 속도 또한 감소되어 있었다. 이는 Sutherland 등<sup>18</sup>이 제시한 대퇴 직근이 유각기때 슬관절의 굴곡을 제한한다는 주장과 일치하며 더불어 사두근 또한 슬관절 경직 보행에 크게 작용한다고 생각된다. 그러나 유각기의 근-건 길이에 있어서는 정상군과 뚜렷한 차이가 관찰되지 않았다. 신전근과 굴곡근 모두의 수축 및 이완 속도가 감소되어 있는 것 또한 입각기 말기의 슬관절 굴곡 속도의 감소가 슬관절 경직 보행에 영향을 준다는 보고와 일치한다<sup>19,20</sup>. 대퇴 직근 길이의 변화에 있어서 최대 길이는 유각기가 아닌 입각기에 나타난다는 Jonkers 등<sup>21</sup>의 연구 결과와 같이 본 연구의 정상군에서도 대퇴 직근의 최대 길이는 입각기에 나타났으며 편평외반족군의 최대 길이는 입각기 말기에 정상군보다 짧게 나타났다. 이로 미루어 대퇴 직근의 경직이 입각기 말기와 유각기 동안 보행에 영향을 미친다고 생각된다.

슬관절 굴곡 보행(crouch gait)시에 슬괵근의 길이에 대해서는 다양한 연구결과가 있다. 일련의 뇌성마비 환자의 보행분석을 통해 Schute 등<sup>14</sup>은 67%에서 슬괵근의 길이가 짧다고 하였으며 Delp 등<sup>15</sup>은 20%에서, Arnold 등<sup>17</sup>은 35%에서 짧다고 하였다. 또한 슬괵근의 길이는 정상보다 짧지 않으며 변화 속도만이 정상보다 느리다는 주장도 있다<sup>15,22,23</sup>. 본 연구에서 편평

외반족 환아의 보행은 슬관절 굴곡 보행보다는 슬관절 경직 보행에 가까웠다. 그러나, 초기 입각기 슬관절 굴곡이 증가되어 있다는 점은 슬관절 굴곡 보행과 차이가 없다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서 반막양근, 박근과 대퇴 이두근의 길이는 정상군보다 길었으며, 속도만이 감소되어 있다는 점은 슬관절 굴곡 보행에서 슬딕근의 길이보다는 속도가 더 큰 영향을 준다는 보고와 일맥상통한다고 하겠다. 단, 입각기 초기의 슬관절 굴곡을 평가하기 위해서는 유각기 말기의 슬딕근 길이에 대한 분석 또한 필요할 것으로 생각된다.

뇌성마비 환아의 편평외반족의 원인 중 하나가 하퇴 삼두근의 경직이므로 하퇴 삼두근의 길이 및 속도가 정상보다 감소되어 있을 것으로 생각되었으나, 길이의 경우 정상군과 큰 차이가 없었으며 변화 속도에서만 정상군보다 감소되어 있었다. Orendurff 등<sup>24</sup>은 첨족 보행을 보이는 뇌성마비 환아에서 아킬레스 건 연장술 후 속도에서는 호전되었으나 길이에서는 차이가 없었음을 보고한 바 있다. 실제 비복근의 길이 평가를 위해서는 골격계 부정정렬을 보완하여 재측정을 할 필요가 있으나, 실험군이 슬관절 경직 보행을 보인 점과 편평외반족에서 종골 경사각이 감소되어 있는 것을 보완하면 비복근의 길이 또한 짧아져 있을 것으로 생각된다. 더불어 속도 또한 감소되어 있으므로 하퇴 삼두근의 연장술은 편평외반족 환아의 보행호전 및 편평외반족 교정을 위해 반드시 필요할 것이다.

본 연구에서는 슬관절의 내회전, 족관절의 외회전으로 횡단면상 부정정렬에 의한 이상 보행을 보였다. Schute 등<sup>14</sup>은 골격계의 부정정렬이 있는 경우 근-건 길이의 측정시 신뢰도가 떨어지며 이의 보정이 필요하다고 한 바 있다. 본 연구에서의 평균 보행 분석에서 이와 같은 부정정렬을 보인 것은 대상 환아의 연령이 비교적 많았기 때문으로 생각된다. 따라서 추후 근-건 길이 및 속도 분석을 위해서는 골격의 변형 및 대상의 연령등을 고려한 실험군의 선택이 필요할 것이다.

뇌성마비 환아의 보행은 각 근육의 경직 및 골격의 변형에 따라 다양하게 나타나며 과거 이러한 보행의 분류에 대한 많은 연구가 있었다<sup>25,26</sup>. 본

연구에서는 비디오 분석 및 보행 분석을 통하여 슬관절 굴곡 보행과 과신전 보행의 두 군으로 나누어 분석을 하였다. 두 군의 역동적 족저압 및 시공간적 지표의 비교시 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 고관절 신전의 감소 및 슬관절 운동은 감소되어 있었고, 족관절의 배부 굴곡은 증가되어 있어 슬관절 경직 보행과 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. 관상면상에서는 뚜렷한 차이를 보이지 않았으나 횡단면상에서는 제 1 군에서 슬관절 내회전 및 족관절 외회전이 제 2 군보다 증가되어 있었다. 대상 환아의 평균 연령이 제 1 군이 제 2 군보다 높았으므로 이는 오랜 기간 적절한 치료를 받지 않은 경우 골격의 부정정렬이 발생한다는 점을 그 근거로 들 수 있겠다.

슬관절 굴곡군에서는 두 군간 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 반면 신전군의 경우 대퇴 직근의 속도가 입각기와 유각기 모두에서 제 1 군에서 감소되어 있었으며, 입각기 중 사두근의 길이가 제 1 군에서 더 길게 나타났다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 슬관절 경직 보행에서 슬관절 신전근이 슬관절 경직 보행의 중요한 원인이라는 점과 일치한다.

비복근의 경우 두 군간 속도의 차이는 나타나지 않았다. 반면 길이는 제 1 군에서 족관절의 배부 굴곡이 더 증가되어 있음에도 제 2 군보다 짧게 측정되었다. Neptune 등<sup>27</sup>은 비복근이 짧으면 슬관절이 신전된다고 주장한 바 있으며, Yamaguchi 등<sup>28</sup>은 슬관절이 굴곡된다고 하였다. 또한 Baddar 등<sup>16</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 길이가 짧은 군에서



슬관절이 굴곡된 것으로 나타났다. 따라서 슬관절이 굴곡되어 있는 제 1 군에서는 편평외반족의 교정과 하퇴 삼두근의 연장으로 하퇴 삼두근의 지렛대 교정 뿐만 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 길이는 길게 나타났다. 이러한 결과는 근육의 길이만을 고려할 때 제 2 군과 같이 슬관절 신전보행을 하는 경우 하퇴 삼두근의 연장이 편평외반족의 교정에는 필요할지라도 보행의 호전에 있어서는 오히려 악영향을 끼칠 것으로 기대된다. 또한 Delp 등<sup>29</sup>은 침족 보행에서 아킬레스 건 연장술 시 가자미근이 늘어나고 슬관절 신전은 감소되지만 족관절의 족저 굴곡력이 감소한다고 하였다. 그러나 제 2 군의 경우에도 비복근의 수축 및 변화속도는 정상군 보다 감소되어 있었으며 아킬레스 건의 연장시 길이의 변화는 없으며 속도만이 호진된다는 Orendurff 등<sup>24</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>30</sup> 하퇴 삼두근의 연장에 의해 슬관절의 과신전 또한 교정 효과를 볼 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 제 1 군과는 달리 족관절의 족저 굴곡 모멘트가 감소되어 있으므로 족저 굴곡력의 보존을 위해 아킬레스 건 연장술 보다는 비복근 퇴출술이 더 효율적일 것으로 생각된다. 과거의 연구에서 하퇴 삼두근만 연장하는 것은 경직된 슬관절에 의한 과도한 슬관절 굴곡 때문에 기피되어 왔다<sup>6,31,32</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.

본 연구에서는 3차원 근골격 모델을 이용하여 근-건 길이 분석을 시행한 결과 편평외반족이 동반된 뇌성마비 환아에서도 비복근의 길이 및 속도에 차이가 있으며, 슬관절과의 관계에 따라 다양한 보행을 보인다는 것을

알 수 있었다. 그러나 보다 더 정확한 분석을 위해서는 근골격계의 변형을 보정한 모델이 필요할 것으로 생각되며 가능한 유사 연령대의 실험군을 모집하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

## V. 결론

편평외반족군에서의 비복근의 경직은 길이보다는 속도에 의한 것이며 편평외반족의 교정 및 보행의 호전을 위해서는 비복근의 연장이 필요하다.

보행시 슬관절 신전양상에 따른 두 군의 비교시 슬관절 굴곡근의 길이 및 속도는 두 군간 차이가 없었으며 슬관절 신전근의 속도가 슬관절 굴곡 보행을 보이는 제 1 군에서 감소되어 있었던 것은 제 1 군의 슬관절 경직보행의 양상이 슬관절 신전근과 연관이 있음을 보여주고 있다. 슬관절 과신전 보행을 보이는 제 2 군에서도 제 1 군보다 비복근의 길이는 증가되어 있으나 비복근의 속도는 정상군 보다 감소되어 있으므로 연장술은 필요하나 단, 족저 굴곡 모멘트의 보전을 위해 가자미근을 피하고 비복근만 주의 깊게 연장해야 할 것이다.

## 참고문헌

- 1) Blair E, Stanley JJ. An epidemiological study of cerebral palsy in Western Australia, 1956-1975. III: postnatal etiology. Dev Med Child Neurol 1982; 24: 575-585.
- 2) Bennet GC, Rang M, Jones D. Varus and valgus deformities of the foot in cerebral palsy. Dev Med Child Neurol 1982; 24: 499-503.
- 3) O'Connell PA, D'Souza Dudeney S. Foot deformities in children with cerebral palsy. J Pediatr Orthop 1998; 18: 743-747.
- 4) Davis JR, Ounpuu S, Deluca PA, Davis III RB. Optimization of walking ability of children with cerebral palsy. J Bone Joint Surg 2003; 85-A: 2224-2234.
- 5) Abu-Faraj ZO, Harris GF, Smith PA. Surgical rehabilitation of planovalgus foot in cerebral palsy. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng 2001; 9: 202-214.
- 6) Gage JR. Gait analysis in cerebral palsy in clinics in developmental medicine. 2nd ed. London, U.K.: Mackeith; 1991.
- 7) Dennyson W, Fulford GE. Subtalar arthrodesis by cancellous grafts and metallic internal fixation. J Bone Joint Surg 1976; 58-B: 507-510.
- 8) Andreacchio A, Orellana CA, Miller F, Bowen TR. Lateral column lengthening as treatment for planovalgus foot deformity in ambulatory children with spastic cerebral palsy. J Pediatr Orthop 2000; 20:

501-505.

9) Yoo WJ, Chung CY, Choi IH, Cho TJ, Kim DH . Calcaneal lengthening for the planovalgus foot deformity in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop* 2005; 25: 781-785.

10) Eames NWA, Baker RJ, Cosgrove AP. Defining gastrocnemius length in ambulant children. *Gait Posture* 1997; 6: 9-17.

11) Bowen TR, Miller F, Castagno P, Richards J, Lipton G. A method of dynamic foot-pressure measurement for the evaluation of pediatric orthopaedic foot deformities. *J Pediatr Orthop* 1998; 18: 787-793.

12) Henning EM, Rosenbaum D. Pressure distribution patterns under the feet of children in comparison with adults. *Foot Ankle* 1991; 11: 306-311.

13) Soames RW. Foot pressure patterns during gait. *J Biomed Eng* 1985; 7: 120-126.

14) Schutte LM, Hayden SW, Gage JR. Lengths of hamstrings and psoas muscles during crouch gait : effects of femoral anteversion. *J Orthop Res* 1997; 15: 615-621.

15) Delp SL, Arnold AS, Speers RA, Moore CA. Hamstrings and psoas lengths during normal and crouch gait : implications for muscle-tendon surgery. *J Orthop Res* 1996; 14: 144-151.

- 16) Baddar A, Granata K, Damiano DL, Carmines DV, Blanco JS, Abel MF. Ankle and knee coupling in patients with spastic diplegia : effect of gastrocnemius-soleus lengthening. *J Bone Joint Surg* 2002; 84-A: 736-744.
- 17) Arnold AS, Liu MQ, Schwartz MH, Ounpuu S, Delp SL. The role of estimating muscle-tendon lengths and velocities of the hamstrings in the evaluation and treatment of crouch gait. *Gait Posture* 2006; 23: 273-281.
- 18) Sutherland DH, Larsen LJ, Mann R. Rectus femoris release in selected patients with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 1975; 17: 26-34.
- 19) Piazza SJ, Delp SL. The influence of muscles on knee flexion during the swing phase of gait. *J Biomech* 1996; 29: 723-733.
- 20) Goldberg SR, Anderson FC, Pandy MG, Delp SL. Muscles that influence knee flexion velocity in double support : implications for stiff-knee gait. *J Biomech* 2004; 37: 1189-1196.
- 21) Jonkers I, Stewart C, Desloovere K, Molenaers G, Spaepen A. Musculo-tendon length and lengthening velocity of rectus femoris in stiff knee gait. *Gait Posture* 2006; 23: 222-229.
- 22) Hoffinger SA, Rab GT, Abou-Ghaida H. Hamstrings in cerebral palsy crouch gait. *J Pediatr Orthop* 1993; 13: 722-726.

- 23) Crenna P. Spasticity and spastic gait in children with cerebral palsy. *Neurosci Biobehav Rev* 1998; 22: 571-578.
- 24) Orendurff MS, Aiona MD, Dorociak RD, Pierce RA. Length and force of the gastrocnemius and soleus during gait following tendo achilles lengthening in children with equinus. *Gait Posture* 2002; 15: 130-135.
- 25) Sutherland DH, Davids JR. Common gait abnormalities of the knee in cerebral palsy. *Clin Orthop* 1993; 288: 139-147.
- 26) Rodda J, 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.
- 27) Neptune RR, Kautz SA, Zajac FE. Contributions of the individual ankle plantar flexors to support forward progression and swing initiation during walking. *J Biomech* 2001; 34: 1387-1398.
- 28) Yamaguchi GT, Zajac FE. Restoring unassisted natural gait to paraplegics via functional neuromuscular stimulation : a computer simulation study. *IEEE Trans Biomed Eng* 1990; 37: 886-902.
- 29) Delp SL, Zajac FE. Force and moment generating capacity of lower extremity muscles before and after tendon lengthening. *Clin Orthop* 1992; 10: 247-259.
- 30) Higginson JS, Zajac FE, Neptune RR, Kautz SA, Burgar CG, Delp

SL. Effect of equinus foot placement and intrinsic muscle response on knee extension during stance. *Gait Posture* 2006; 23: 32-36.

31) Sutherland DH, Cooper L. The pathomechanics of progressive crouch gait in spastic diplegia. *Orthop Clin North Am* 1978; 9: 143-154.

32) Rang M. Cerebral palsy. In : Morrissy RT, editors. *Lovell and Winter's Pediatric Orthopaedics*. 3rd ed. Philadelphia : JB Lippincott; 1990. p 465-506.



## **Abstract**

New development of gait classification using musculoskeletal modelling in cerebral palsy patients with planovalgus

**Young-jin Seo**

*Department of Medicine  
The Graduate School, Yonsei University*

(Directed by Professor Hui Wan Park)

Children with cerebral palsy show many kinds of pathologic gait and bony deformities. Planovalgus is the most common foot deformity in children with cerebral palsy. Several previous gait analysis after correction of planovalgus reported improvement in gait parameters. However, patients with planovalgus show diverse gait and these different gait may be affected by length and velocity of muscle. The purpose of our study was to characterize the gait pattern of patient with planovalgus and to evaluate the effect of muscle length and velocity.

Between 2003 and 2005, patients with spastic diplegia and planovalgus above 5 years old were included. The patients were diagnosed as having planovalgus deformities when forefoot abduction and supination and hindfoot valgus were revealed on physical examination and increased medial foot pressure on dynamic pedobarography. Patients who could

walk independently were selected. Patients who had undergone selective posterior rhizotomy, other orthopaedic surgery and botulinum injection within 6 months before surgery were excluded. 22 patients were included, and 17 patients were boys and 5 patients were girls. The mean age at the time of evaluation was 12 years (5 years ~ 18 years). The normal group was composed of 15 normal children between 5 years and 15 years. To classify by the competence of ankle plantarflexion-knee extension coupling, the patients were divided into group I with knee flexion gait and group II with knee hyperextension gait. In group I, knee flexion was more than 30 degrees during mid-stance phase and in group II, knee flexion was less than 15 degrees during mid-stance phase. In group I, 5 patients were boys and 2 patients were girls, and average age was 12 years (5<sup>+9</sup> years ~ 18 years). In group II, 12 patients were boys and 3 patients were girls, and average age was 7<sup>+7</sup> years (5 years ~ 11<sup>+3</sup> years).

Anterior pelvic tilt and pelvic rotation were increased and peak hip extension was decreased in planovalgus group. And knee flexion at initial contact was increased and knee flexion during swing phase was decreased. Ankle dorsiflexion during stance phase was decreased also. In planovalgus group, the percent anatomical lengths of iliacus and gluteus medius were shorter than that of normal group. The percent anatomical lengths of rectus femoris were shorter than that of normal group. There was no difference in the percent anatomical lengths of gastrocnemius. But, the percent velocity of gastrocnemius was decreased in planovalgus group.

The angle of knee extension was decreased in group I. The angle of ankle dorsiflexion was decreased in group II. There was no difference in the percent length of knee flexor. The lengths of gastrocnemius were

decreased in group I. There was no difference in the velocity of knee flexor and gastrocnemius.

The stiffness of gastrocnemius in planovalgus was induced by slow velocity, but the lengthening of gastrocnemius was thought essential to correct planovalgus deformity and improve knee extension-ankle plantarflexion coupling. Also, lengthening of gastrocnemius might to be done in knee flexion gait and knee extension gait.

---

Key Words : planovalgus, cerebral palsy, muscle length, gait analysis