

슬관절 운동형상학적 특성에 따른
편마비 보행의 분류

연세대학교 대학원
의 학 과
조 수 경

슬관절 운동형상학적 특성에 따른
편마비 보행의 분류

지도교수 김 덕 용

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2007년 12월

연세대학교 대학원

의 학 과

조 수 경

조수경의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

심사위원 _____ 인

연세대학교 대학원

2007년 12월

감사의 글

본 논문이 완성하기까지 시작부터 모든 면에서 격려해 주시고 가르쳐주신 김덕용 교수님께 깊이 감사드립니다.

또한 많은 관심과 교정의 격려로 도움을 주신 한창동 교수님, 박운길 교수님께 진심으로 감사드립니다.

보행 분석 검사를 맡아 주었던 재활병원 동작분석실의 이돈신씨에게도 감사드리며, 항상 옆에서 힘이 되어 주시는 부모님과 이 기쁨을 함께 나누고 싶습니다.

저자 씀

차 례

국문요약	1
I. 서론	3
II. 재료 및 방법	6
1. 연구대상	6
2. 연구방법	7
가. 보행 분석	7
나. 에너지 소모	7
다. 군집 분석	7
라. 분석 방법	8
III. 결과	9
1. 군집 분석을 통한 군의 분류	9
2. 이학적 소견 비교	9
3. 시공간적 지표 비교	13
4. 운동형상학적 지표 비교	15
5. 운동역학적 지표 비교	24
6. 에너지 소모량 비교	30
IV. 고찰	32
V. 결론	37
참고문헌	38
영문요약	41

그림 차례

Fig 1. Knee sagittal kinematic data of each group····	10
Fig 2. Pelvis kinematic data··········	15
Fig 3. Hip kinematic data··········	18
Fig 4. Knee kinematic data··········	21
Fig 5. Ankle kinematic data··········	23
Fig 6. Hip kinetic data ·········	25
Fig 7. Knee kinetic data ·········	27
Fig 8. Ankle kinetic data ·········	29

표 차례

Table 1. General characteristics of subjects·····	6
Table 2. Comparison of general characteristics of subjects·····	10
Table 3. Comparison of Motricity index & Brunnstrom stage·····	11
Table 4. Comparison of manual muscle test·····	12
Table 5. Comparison of range of motion·····	12
Table 6. Comparison of modified Ashworth scale·····	13
Table 7. Comparison of temporo-spatial data·····	14
Table 8. Comparison of kinematic data in pelvis·····	17
Table 9. Comparison of kinematic data in hip·····	19
Table 10. Comparison of kinematic data in knee·····	22
Table 11. Comparison of kinematic data in ankle·····	24
Table 12. Comparison of kinetic data in hip·····	26
Table 13. Comparison of kinetic data in knee·····	28
Table 14. Comparison of kinetic data in ankle·····	30
Table 15. Comparison of energy consumption data·····	31
Table 16. Summary of results·····	31

국문 요약

슬관절 운동형상학적 특성에 따른 편마비 보행의 분류

편마비 환자의 슬관절의 운동형상학적 특성에 따라 보행 양상을 분류하고, 각 군의 임상적, 운동형상학적, 운동역학적, 에너지 소모 자료의 차이를 비교 분석해 보고자 하였다. 169명의 편마비 환자와 24개의 대조군(12명의 환자)을 이용하여 환측 슬관절의 운동형상학적 자료에 근거하여 군집 분석 방법으로 보행 양상을 분류하였고, 결과는 다음과 같았다.

1군(경미굴곡군)은 입각기에 슬관절의 굴곡이 다소 증가하고, 유각기는 거의 정상과 유사한 군이며, 2군(전반슬군)은 입각기에 전반슬을 보이면서 유각기에 슬관절의 굴곡이 다소 감소하는 군이다. 3군(뼈정다리군)은 슬관절의 굴곡이 전반적으로 감소되어 있고 뼈정다리 보행 양상인 군이고, 4군(신전밀침군)은 입각기에 전반슬을 보이고, 유각기에도 슬관절의 굴곡이 많이 감소되는 군이다. 도수 근력 검사상 대부분의 근육에서 3군과 4군이 낮은 근력 정도를 보였으며 족관절의 근력은 4군이 다른 군에 비해 의미있게 낮았다. 시상면 골반 가동범위는 4군이 다른 군에 비해 의미있게 컸으며, 유각기 최대 고관절 굴곡 각도는 4군이 1, 2군에 비해 의미있게 낮았다. 중간 입각기 슬관절의 최대 굴곡 각도는 2, 4군이 1, 3군에 비해 의미있게 낮았다. 입각기 최대 족배굴곡은 1군이 다른 군에 비해 유의하게 높았으며 4군이 가장 낮았다. 각 관절에서 일률의 생성과 흡수가 1군이 다른 군에 비해 유의하게 높은 경향을 보였다. 산소 소모비가 3, 4군에서 1, 2군에 비해 의미있게 컸으며, 3, 4군의 경우 보행 속도가

느리며, 좌우의 보행 비대칭성이 증가하였다.

본 연구에서 편마비 환자의 슬관절 운동형상학적 지표를 사용하여 보행 양상을 분류하였고 이들 각 군이 비교적 유사한 기능수준을 보였다. 이 분류는 편마비 환자의 보행의 질을 알아보는데 도움이 되고, 향후 편마비 환자 치료의 기본 자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

핵심되는 말 : 보행 분석, 편마비 환자의 보행, 에너지 소모

슬관절 운동형상학적 특성에 따른 편마비 보행의 분류

<지도교수 김덕용>

연세대학교 대학원 의학과

조 수 경

I. 서론

뇌졸중 이후 이상 보행 양상(gait pattern)의 이상은 자주 관찰되는데, 이에 대한 평가로 보행 분석(gait analysis)을 많이 하게 된다. 이런 보행 분석은 마비 환자의 이상 보행 양상에 대해 보다 객관적이고 정확한 평가와 이를 토대로 적절한 치료 방법을 선택하는 것을 가능하게 해준다. 그러나 이런 보행 분석의 검사는 비용이 비싸기 때문에 자주 시행하기 힘들고, 결과 또한 방대한 정보가 정량적으로 제시되어 있어서 이를 분석하고 치료 방법을 선택하는 데에는 상당한 숙련이 요구된다. 따라서 보행 분석 결과에 기초한 보행 양상을 분류하는 작업은 보다 쉽게 보행 양상 분석을 가능하게 하여 매우 유용하게 사용될 수 있다.

일반적으로 편마비 환자의 보행의 특징으로 보행 속도의 감소, 초기 접지기, 발가락떼기시와 중간 유각기 고관절 굴곡의 감소, 초기 접지기 슬관절 굴곡의 증가와 발가락떼기시와 중간 유각기 슬관절 굴곡의 감소, 초기 접지기와 중간 유각기 족저굴곡의 증가와 발가락떼기시 족저굴곡의 감소 등이 알려져 있다.¹ 그리고, 초기 접지기와 유각기에 슬관절 굴곡의 감소와 족저굴곡의 증가를 보이며, 정상과 다른 보행양상을 보이는 정도가 일반적으로 보행 속도와 연관이 있다는 보고도 있다.^{2,3,4}

편마비 환자의 보행 양상이 어느 정도까지 회복되는가에 대해서는 잘 알

려진 바가 없으나, Shiavi 등⁵은 뇌졸중 후 회복기간에 걸쳐 보행 양상을 근전도 활성화 양상(electromyography activation pattern)에 근거하여 발병 후 4주에 10명 중 9명이 비정상 근전도 활성화 양상을 보였고, 57주 후 9명 중 2명만이 정상 양상으로 변화되었고, 나머지 7명은 또 다른 비정상 양상을 보인다고 했다. 그러나 이들 근 활성화양상(muscle activation pattern)은 운동형상학적(kinematic) 결과와 연관성을 보이지는 않았고, 근전도 활성화 양상은 속도와의 연관성이 없었다.

de Quervain 등⁶은 보행 속도와 하지 관절 동작(joint motion)의 두 지표에 근거하여 18명의 중뇌동맥 경색 환자를 4개의 군(extension thrust pattern, stiff-knee pattern, buckling knee pattern, normal knee pattern)으로 분류하였다. 그러나 이 연구는 하지 관절동작에 의한 분류가 임의적이며, 군 분류 후 각 군의 운동형상학적 자료를 기술하지 않고 양상을 기술하였다는 점에서 분류의 객관성이 다소 떨어진다고 볼 수 있다.

Mulroy 등⁷은 보행 속도와 시상면의 운동형상학적 자료를 이용하여 42명의 뇌졸중으로 인한 편마비 환자를 4개의 군으로 분류하였다. 이 네 군은 가장 빠른 속도를 가지면서 중간 입각기(mid-stance)에 슬관절 신전이 약간 저하되는 군(1군), 중간 정도의 속도(intermediate velocity)를 보이면서 중간 입각기에 슬관절 굴곡이 1군보다 증가되어 있는 군(2군), 매우 느린 속도를 보이면서 중간 입각기 동안 과도한 슬관절 굴곡을 보이는 군(3군), 역시 매우 느린 속도를 보이면서 중간 입각기 동안 슬관절 과신전(knee hyperextension)을 보이는 군(4군)이었다. 이 연구에서는 정상인 대조군과 비교가 없었으며, 분류된 각 군의 시상면에서의 결과만을 비교하였고, 운동역학적 결과의 비교는 없었다. 이들 연구에서 사용된 군집 분석(cluster analysis)은 선택된 몇 개의 지표에 근거하여 각 개체를 유사한 군으로 분류해 내는 통계방법으로, 뇌성마비 환자의 보행 양상 분석이나 나이에 따른 보행 양상의 차이를 보는 연구 등에 사용되어지던 방법이다.

편마비 뇌성마비 환자의 보행에 대한 연구를 보면 각 관절의 운동형상학적 특징을 지표로 분류한 연구들이 많은 편이나, 뇌졸중 편마비 환자를 대

상으로 한 보행 양상의 분석에 관한 연구는 미미한 실정이고, 각 연구 간의 견해를 보이며, 연구 대상수가 비교적 적은 편이다. 이에 본 연구에서는 편마비 환자의 슬관절 운동형상학적 자료를 이용하여 보행 양상을 분류하고, 분류된 각 군의 임상적, 운동형상학적, 운동역학적 자료와 에너지 소모 자료(energy consumption data)를 서로 비교 분석하여 각 군의 특성을 알아보려고 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상

연세의료원 재활의학과에 2000년 1월부터 2007년 3월까지 입원하였던 편마비 환자 중 입원 기간 중 동작분석 검사를 시행하였던 169명(남자 114명, 여자 55명)을 대상으로 하였다. 적어도 6m 이상 보행이 가능한 편마비 환자를 대상으로 하였으며, 환자 중 이전에 골절이나 다른 수술 병력이 있는 환자는 제외하였고, 병전에 보행에 영향을 미칠 수 있는 주요 내, 외과적 질환이 있는 경우도 제외하였다. 뇌졸중이 처음 발병한 사람만을 대상으로 하였고 운동실조를 보이는 경우와 사지마비 환자는 제외하였다. 우측 편마비 환자는 94명(55.6%), 좌측 편마비 환자는 75명(44.4%)이었고, 환자군의 평균 나이는 54.39세이었다. 편마비 원인별로는 뇌경색이 108명(63.9%), 뇌출혈이 55명(32.5%), 외상성 뇌손상이 6명(3.6%)이었다. 동작분석검사를 한 시점은 뇌졸중 발병 후 평균 52.37주 경과한 시점이었으며, 정상군 역시 보행에 영향을 줄 수 있는 골절이나 다른 신경학적 이상 소견이 없는 사람을 대상으로 하였으며, 12명의 정상인의 보행 분석상의 좌, 우측 결과를 이용하여 24개의 대조군을 얻었다. 정상인의 평균 나이는 51.67세였으며 남자 20명, 여자 4명이었다(Table 1).

Table 1. General characteristics of subjects

		환자군(%)	정상군(%)
	나이(년)	54.39±15.49	51.67±6.74
	유병기간(주)	52.37±182.29	-
원인	뇌경색(명)	108(63.9)	-
	뇌출혈(명)	55(32.5)	-
	외상성 뇌손상(명)	6(3.6)	-
성별	남(명)	114(67.5)	20(83.3)
	여(명)	55(32.5)	4(16.7)

2. 연구방법

가. 보행 분석: 3차원 보행분석기인 Vicon 370 동작 분석 시스템(Oxford Metrics Ltd., Oxford, UK)을 이용하여 운동형상학 및 운동역학적 지표를 구하였다. Vicon 프로토콜에 따라 기립 정지 상태에서 김 등⁸이 보고한 바와 같이 13개의 표식자를 부착하고 신발을 신지 않은 상태에서 보조기 도움 없이 보행을 하도록 하였다. 부착 위치는 양측 두 번째와 세 번째 중족골두 사이, 양측 외측 복사골, 양측 비골 외측연 중간지점, 양측 슬관절축(외측 상과의 직하방), 양측 대퇴골 외측연 중간지점, 양측 전상방 장골극, 제 1천추골이었다. 8m 길이의 보도를 수차례 걸게 하여 자연스러운 보행을 유도한 후 최소한 5차례 이상 걷도록 하여 보행 주기에 따른 운동형상학적 및 운동역학적 지표를 Polygon 소프트웨어(Oxford Metrics Ltd., Oxford, UK)를 이용하여 구하였다. 보행 전 적외선 카메라에서 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위해 보정을 시행한 후 검사를 진행하였다.

나. 에너지 소모: 신발을 신지 않은 상태에서 타원형 20m의 트랙을 5분간 편안한 속도로 보행하게 하면서, KB1-C(Panona di Albano, Rome, Italy)를 이용하여 30초마다 산소 소모량을 측정하였으며, 이 중 3분에서 5분까지의 값을 평균하여 산소 소모율(O_2 rate)를 구하고, 동시에 5분간 보행한 거리를 측정하여 산소 소모비(O_2 cost)를 구하였다.⁹

다. 굳짐 분석: 환측 슬관절 시상면에서 다음 4가지 지점에 근거하여 굳짐 분석을 하였다.

- (1) 초기 접지기 슬관절 굴곡각도(Knee flexion angle at initial contact)
- (2) 중간 입각기 최대 슬관절 굴곡각도(Peak knee flexion angle at midstance)
- (3) 발가락떼기시 슬관절 굴곡각도(Knee flexion angle at toe-off)

(4) 유각기 최대 슬관절 굴곡각도(Peak knee flexion angle in swing)

라. 분석 방법: 통계 분석은 윈도우용 SPSS 12.0을 이용하였다. 군집 분석을 통해 구분된 각 군의 임상적, 운동형상학적, 운동역학적 자료와 시공간적 지표, 에너지 소모 자료는 one-way ANOVA로 비교하였고, 사후 검정은 Tukey test를 이용하여 분석하였으며, P값이 0.05 미만인 경우를 통계학적으로 유의한 것으로 정의하였다. 실험군과 대조군의 비교는 independent t-test를 이용하였으며, 이학적 소견 중 비모수변수인 토마스 검사와 던칸-엘리 검사, 각 군간의 성별차이는 카이제곱 검정(chi-square test)으로 분석하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 군집 분석을 통한 군의 분류

군집 분석을 통해 총 4개 군을 구할 수 있었다. 1군(경미굴곡군, mild flexed group)은 입각기에 슬관절의 굴곡이 다소 증가하고, 유각기는 거의 정상과 유사한 양상을 보였고, 2군(전반슬군, Genu recurvatum group)은 입각기에 전반슬을 보이면서 유각기에 슬관절의 굴곡이 다소 감소하는 양상을 보였다. 3군(뻣다리군, stiff-knee group)은 슬관절의 굴곡이 전반적으로 감소되어 있고 뻣다리 보행 양상을 보였으며, 4군(신전밀침군, extension thrust group)은 입각기에 전반슬을 보이고, 유각기에도 슬관절의 굴곡이 많이 감소되는 양상을 보였다(Fig 1). 총 169명 중 1군은 50명(29.6%), 2군은 23명(13.6%), 3군은 45명(26.6%), 4군은 51명(30.2%)으로 4군, 1군, 3군, 2군 순으로 많았고 2군을 제외하고 1, 3, 4군은 고르게 분포되었다.

2. 이학적 소견 비교

남녀의 비율은 각 군 간에 통계학적으로 의미있는 차이는 없었으며, 나이는 2군이 평균 43.00세로 다른 환자군에 비해서 통계학적으로 의미있게 작았다($p < 0.05$). 발병일 이후 기간 역시 환자군 내에서 의미있는 차이는 없었다(Table 2).

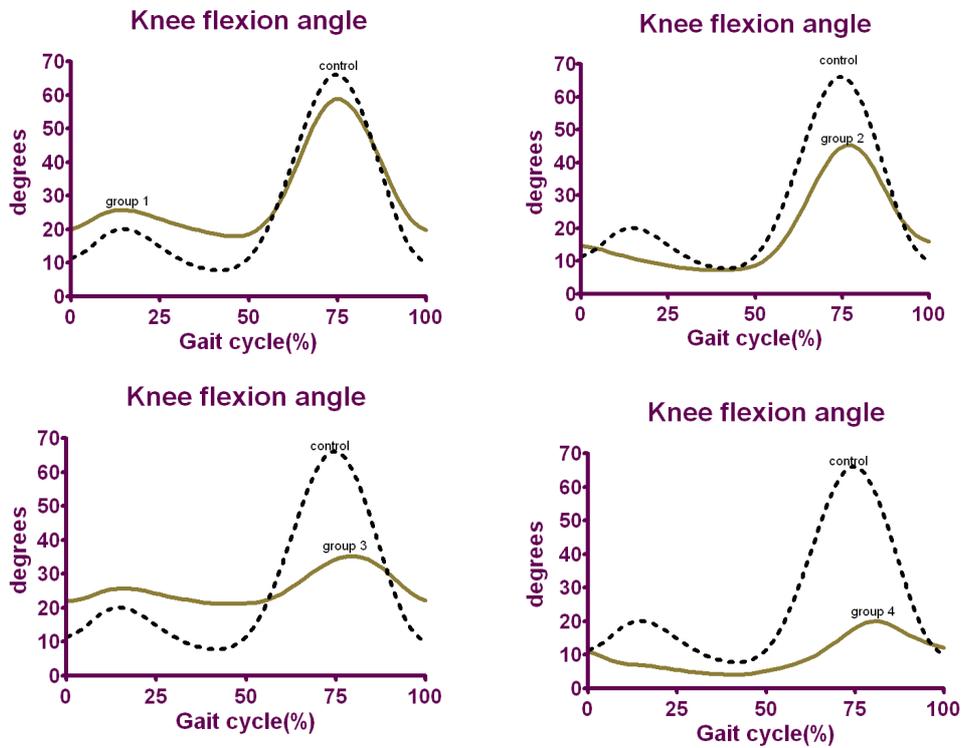


Fig 1. Knee sagittal kinematic data of each group.

Table 2. Comparison of general characteristics of subjects

	Group1(n=50)	Group2(n=23)	Group3(n=45)	Group4(n=51)	
Age (years)*	55.48±14.69	43.00±16.65 ^a	57.73±15.65 ^b	55.54±13.55 ^b	
Sex	male	31(62.0%)	13(56.5%)	30(66.7%)	40(78.4%)
	female	19(38.0%)	10(43.5%)	15(33.3%)	11(21.6%)
Duration (weeks)	52.57±250.00	47.86±91.00	56.43±209.43	50.71±91.00	

Values are mean ± standard deviation

*; $p < 0.05$ (between four groups)

a; $p < 0.05$ (vs. group 1), b; $p < 0.05$ (vs. group 2)

Motricity index는 3, 4군이 평균 57.33점, 52.50점으로 1, 2군의 평균 67.63점, 64.58점에 비해서 통계학적으로 의미있게 적었고, Brunstrom

stage는 4군에서 평균 3.61기로 1, 2군의 평균 4.50기, 4.23기에 비해 통계학적으로 유의있게 낮았고($p<0.05$), 3군은 1군에 비해 통계학적으로 의미있게 낮았다($p<0.05$). 1군과 2군 간에는 Motricity index, Brunnstrom stage의 의미있는 차이를 보이지 않았다(Table3).

Table 3. Comparison of Motricity index & Brunnstrom stage

	Group1(n=50)	Group2(n=23)	Group3(n=45)	Group4(n=51)
Motricity index	67.63±10.03	64.58±10.60	57.33±9.02 ^{a,b}	52.50±9.75 ^{a,b}
Brunnstrom stage	4.50±0.84	4.23±0.81	3.71±0.82 ^a	3.61±0.67 ^{a,b}

Values are mean ± standard deviation

*; $p<0.05$ (between four groups)

a; $p<0.05$ (vs. group 1), b; $p<0.05$ (vs. group 2)

Medical research council 등급에 의한 도수 근력검사상 대부분의 근육에서 3, 4군이 낮은 근력 정도를 보였고, 1군과 2군 간에는 차이를 보이지 않았다. 특히 족배굴곡근(ankle dorsiflexor)의 경우 4군이 평균 1.78로 1, 2, 3군의 평균 3.26, 2.78, 2.47에 비해 통계학적 의미있게 낮았고, 3군은 1군에 비해 의미있게 낮았다. 족저굴곡근(ankle plantaflexor)의 경우에도 4군이 평균 1.94로 1, 2, 3군의 평균 3.46, 3.17, 2.76에 비해 통계학적 의미있게 낮았고, 3군은 1군에 비해 의미있게 낮았다. 고관절 굴곡근의 경우 3, 4군이 평균 3.18, 3.12로 1, 2군의 평균 3.76, 3.61에 비해 통계학적으로 의미있게 낮았으며 3군과 4군 사이에는 의미있는 차이는 없었다. 슬관절 굴곡근과 신전근의 경우 4군이 1, 2군에 비해 통계학적 의미있게 낮았으며, 3군은 1군에 비해 의미있게 낮았다(Table 4).

Table 4. Comparison of manual muscle test

	Group1(n=50)	Group2(n=23)	Group3(n=45)	Group4(n=51)
Hip flexor*	3.76±0.56	3.61±0.58	3.18±0.58 ^{a,b}	3.12±0.63 ^{a,b}
Hip extensor*	3.56±0.64	3.43±0.73	3.04±0.60 ^a	3.04±0.85 ^a
Hip abductor*	3.52±0.65	3.52±0.67	3.18±0.58	2.96±0.69 ^{a,b}
Hip adductor*	3.56±0.61	3.70±0.64	3.29±0.59	3.06±0.73 ^{a,b}
Knee flexor*	3.54±0.81	3.50±0.67	3.07±0.69 ^a	2.76±0.82 ^{a,b}
Knee extensor*	3.72±0.57	3.70±0.56	3.31±0.63 ^a	3.08±0.77 ^{a,b}
Ankle Dorsiflexor*	3.26±1.01	2.78±1.09	2.47±1.08 ^a	1.78±1.06 ^{a,b,c}
Ankle plantarflexor*	3.46±0.97	3.17±1.07	2.76±1.19 ^a	1.94±1.12 ^{a,b,c}

Values are mean ± standard deviation

*; p<0.05(between four groups)

a; p<0.05(vs. group 1), b; p<0.05(vs. group 2), c; p<0.05(vs. group 3)

관절가동범위는 고관절과 슬관절에서는 각 군간에 차이가 없었으나, 족배 굴곡의 관절가동범위가 3, 4군에서 평균 10.89도, 9.61도로 1군의 평균 16.20도에 비해 통계학적으로 의미있게 작았다(Table 5).

Table 5. Comparison of range of motion

	Group1(n=50)	Group2(n=23)	Group3(n=45)	Group4(n=51)
Hip flexion(°)	120.00±0.00	119.55±2.13	120.00±0.00	119.61±1.96
Hip extension(°)	29.50±3.54	28.41±5.21	29.56±2.98	29.51±2.50
Knee flexion(°)	135.00±0.00	135.00±0.00	135.00±0.00	135.00±0.00
Knee extension(°)	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
Ankle dorsiflexion(°)*	16.20±6.89	13.86±6.89	10.89±10.19 ^a	9.61±11.44 ^a
Ankle plantarflexion(°)	20.00±0.00	20.00±0.00	20.00±0.00	20.00±0.00

Values are mean ± standard deviation

*; p<0.05(between four groups)

a; p<0.05(vs. group 1)

Modified Ashworth scale은 고관절 굴곡근과 슬관절 신전근에서 4군이 평균 0.86으로 1, 2, 3군의 평균 0.25, 0.45, 0.52에 비해 통계학적으로 의미 있게 컸으며, 족저굴곡의 경우 3, 4군이 평균 1.07, 1.21로 1군의 평균 0.45에 비해 통계학적으로 의미있게 컸다(Table 6).

Table 6. Comparison of modified Ashworth scale

	Group1(n=50)	Group2(n=23)	Group3(n=45)	Group4(n=51)
Hip flexor*	0.25±0.46	0.45±0.65	0.52±0.68	0.86±0.61 ^{a,b,c}
Knee extensor*	0.35±0.54	0.50±0.66	0.58±0.70	1.00±0.59 ^{a,b,c}
Ankle plantarflexor*	0.45±0.61	0.77±0.67	1.07±1.02 ^a	1.21±0.65 ^a

Values are mean ± standard deviation

*; p<0.05(between four groups)

a; p<0.05(vs. group 1), b; p<0.05(vs. group 2), c; p<0.05(vs. group 3)

3. 시공간적(temporo-spatial) 지표 비교

보행 속도는 환자군에서 정상군의 평균 1.07m/sec에 비해 네 군 모두 의미 있게 감소하였다. 3, 4군에서 평균 0.26m/sec, 0.18m/sec으로 1, 2군의 평균 0.67m/sec, 0.41m/sec에 비해 통계학적으로 의미있게 낮았으며, 4군이 가장 느리고, 1군에서 가장 빠른 보행 속도를 보였다. 보속(cadence) 역시 정상군의 평균 110.42steps/min에 비해 환자군 모두에서 통계학적으로 의미 있게 낮았으며, 4군에서 평균 52.21steps/min으로 가장 작았다(p<0.05).

환측의 한쪽다리딛기시간(single support time)은 정상군의 평균 36.1%보다 환자군에서 모두 통계학적으로 의미있게 낮았는데, 4군에서 평균 13.2%로 가장 낮고, 환측의 양다리딛기시간(double support time)은 정상군의 평균 27.9%에 비해 환자군 모두 의미있게 높았으며, 4군에서 평균 62.5%로 가장 컸다. 좌, 우측의 한쪽다리딛기 시간의 비대칭 정도를 보는 한쪽다리딛기시간 비대칭비(asymmetry ratio of single support time)도 환자군 모두에서 정상군의 평균 4.1%에 비해 통계학적으로 의미있게 높았으며, 4군

에서 평균 46.7%로 가장 높고 1군에서 평균 11.6%로 가장 낮았다. 환측의 보장(step length)은 정상군의 평균 0.58m에 비해 환자군에서 모두 통계학적으로 의미있게 작았고 환자군 내 비교 시 3, 4군에서 평균 0.24m, 0.23m로 1, 2군의 평균 0.42m, 0.38m에 비해 의미있게 작았다. 보장 비대칭비(asymmetry ratio of step length)도 정상군의 평균 3.6%에 비해 1, 2, 4군에서 평균 18.3%, 78.3%, 190.4%으로 통계학적 의미있게 컸으나, 환자군 내 비교 시 통계학적으로 의미있는 차이를 보이지는 않았다(Table 7).

Table 7. Comparison of temporo-spatial data

	Group1(n=50)	Group2(n=23)	Group3(n=45)	Group4(n=51)	Normal(n=24)
Gait speed(m/sec)*	0.67±0.23 [†]	0.41±0.18 ^{†,a}	0.26±0.13 ^{†,a,b}	0.18±0.11 ^{†,a,b}	1.07±0.13
Cadence(steps/min)*	96.02±18.88 [†]	75.94±21.97 ^{†,a}	69.41±18.53 ^{†,a}	52.21±14.92 ^{†,a,b,c}	110.42±7.68 [†]
Unaffected single support time(%)*	32.56±4.97 [†]	33.02±6.12 [†]	26.01±6.71 ^{†,a,b}	24.58±7.92 ^{†,a,b}	36.14±1.91
Affected single support time(%)*	29.80±5.83 [†]	23.35±7.65 ^{†,a}	18.15±6.49 ^{†,a,b}	13.19±6.51 ^{†,a,b,c}	36.14±1.91
Asymmetry ratio of single support time(%)*	11.58±11.57 [†]	30.83±18.37 ^{†,a}	33.84±20.35 ^{†,a}	46.65±15.49 ^{†,a,b,c}	4.09±3.87
Unaffected double support time(%)*	38.21±7.42 [†]	45.93±9.63 ^{†,a}	55.52±11.04 ^{†,a,b}	61.54±13.74 ^{†,a,b,c}	27.86±3.12
Affected double support time(%)*	38.55±7.59 [†]	46.86±9.72 ^{†,a}	55.44±10.18 ^{†,a,b}	62.45±14.12 ^{†,a,b,c}	27.86±3.12
Unaffected step length(m)*	0.41±0.11 [†]	0.28±0.12 ^{†,a}	0.21±0.11 ^{†,a,b}	0.17±0.10 ^{†,a,b}	0.58±0.06
Affected step length(m)*	0.42±0.11 [†]	0.38±0.08 [†]	0.24±0.09 ^{†,a,b}	0.23±0.09 ^{†,a,b}	0.58±0.06
Asymmetry ratio of step length(%)	18.33±22.71 [†]	78.26±163.93 [†]	129.94±432.61	190.36±454.08 [†]	3.55±3.60

Values are mean ± standard deviation

*; p<0.05(between four groups), † ; p<0.05(vs.normal group)

a; p<0.05(vs. group 1), b; p<0.05(vs. group 2), c; p<0.05(vs. group 3)

4. 운동형상학적 지표 비교

가. 골반의 운동형상학적 지표 비교

최대 골반 전방굴곡 각도는 정상군의 평균 14.38도에 비해 2, 4군이 평균 19.36도, 17.28도로 통계학적으로 의미있게 컸으며, 환자군 내 비교 시 4군에서 1, 3군의 평균 16.37도, 14.51도에 비해 통계학적으로 의미있게 컸다. 시상면의 골반 가동관절범위(range of motion)는 정상군의 평균 2.57도에 비해 환자군 모두에서 통계학적으로 의미있게 증가하였는데, 4군에서 평균 9.58도로 1, 2, 3군의 4.22도, 6.99도, 6.46도에 비해 통계학적으로 의미있게 컸다($p < 0.05$)(Fig.2).

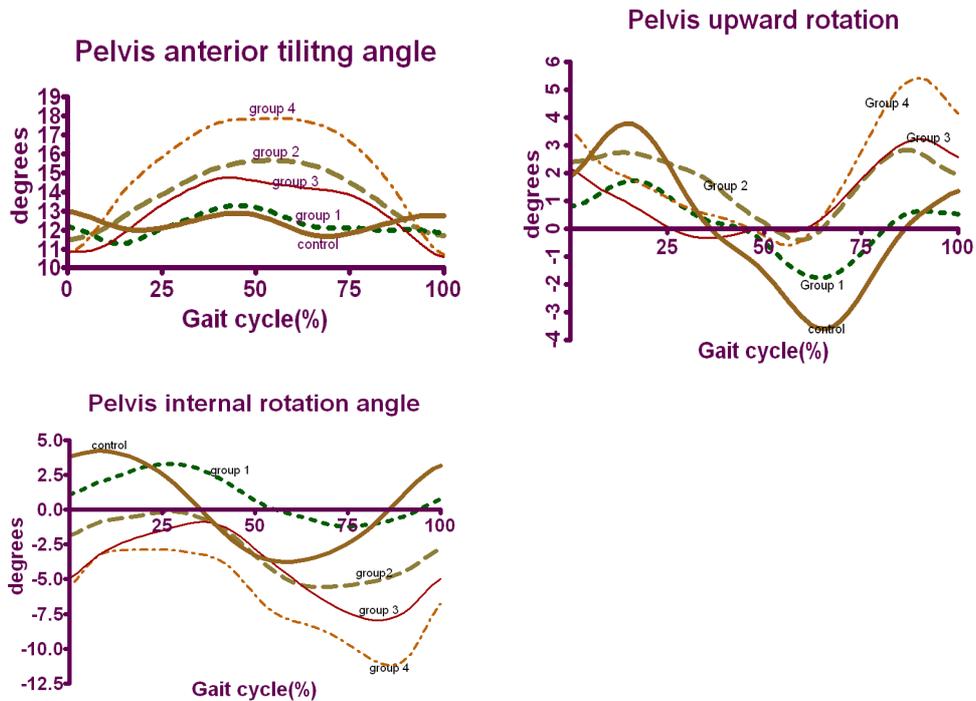


Fig 2. Pelvis kinematic data.

관상면에서의 골반 가동범위는 정상군의 평균 7.99도에 비해 1, 2, 3군에서 평균 5.20도, 5.90도, 5.13도로 통계학적으로 의미있게 낮았고, 환자군 내 비교 시 1, 2, 3군이 4군의 평균 8.24도에 비해 통계학적으로 의미있게 작았다. 유각기에서의 최대 골반상방회전(pelvis upward rotation) 각도는 정상군의 평균 2.94도와 비교 시 4군에서만 평균 5.92도로 통계학적으로 의미있게 컸으며, 환자군 내 비교 시에도 4군이 1, 2, 3군의 평균 1.11도, 3.23도, 3.59도에 비해 통계학적으로 의미있게 컸다(Fig.2).

횡단면에서 최대 골반 외회전(external rotation) 각도는 정상군의 평균 -0.07도(외회전 0.07도)에 비해 2, 3, 4군이 평균 -2.86도, -4.29도, -6.31도로 통계학적으로 의미있게 외회전 각도가 컸고, 환자군 내 비교 시에도 3, 4군이 1군의 평균 0.93도(내회전 0.93도)에 비해 의미있게 외회전 각도가 컸다. 최저 골반 외회전(최고 골반 내회전)각도는 정상군의 평균 4.63도(내회전 4.63도)에 비해 2, 3, 4군에서 평균 2.09도, 0.58도, 0.53도로 통계학적으로 의미있게 작았고, 환자군 내 비교 시는 2, 3, 4군이 1군의 평균 4.73도에 비해 의미있게 작았다. 횡단면 상의 골반의 가동관절범위 각도는 정상군의 평균 8.90도에 비해 4군에서만 평균 13.91도로 의미있게 컸으나 다른 군은 정상과 의미있는 차이를 보이지 않았고, 환자군 내 비교 시 4군이 1, 2, 3군의 평균 7.51도, 9.89도, 10.11도에 비해 통계학적으로 의미있게 컸다(Fig.2, Table 8).

Table 8. Comparison of kinematic data in pelvis

	Group1(n=50)	Group2(n=23)	Group3(n=24)	Group4(n=51)	Normal(n=24)
Max. ¹ pelvic tilting(°)*	14.51±5.59	17.28±4.56 [†]	16.37±4.32	19.36±5.52 ^{†,a,c}	14.38±4.07
Pelvic ROM ² (sagittal)(°)*	4.22±2.04 [†]	6.99±4.49 ^{†,a}	6.46±3.29 ^{†,a}	9.58±4.72 ^{†,a,b,c}	2.57±0.87
Pelvic mean anterior tilting(°)*	12.24±5.26	13.89±4.86 [†]	13.32±4.13	15.37±4.99 ^a	13.14±4.16
Range of pelvic obliquity(°)*	5.20±2.61 [†]	5.90±2.73 [†]	5.13±2.43 [†]	8.24±3.92 ^{a,b,c}	7.99±2.70
Mean pelvic obliquity(°)*	0.15±1.64	1.66±2.87 [†]	1.14±3.02	1.93±2.52 ^{†,a}	0.16±1.41
Max. ¹ pelvic upward Rot ³ in swing(°)*	1.11±2.00 [†]	3.23±4.41	3.59±3.49 ^a	5.92±3.83 ^{†,a,b,c}	2.94±2.78
Max. ¹ pelvic upward Rot ³ (°)*	2.62±2.04 [†]	4.37±4.07	3.73±3.38	6.33±3.59 ^{†,a,c}	4.24±2.27
Min. ⁴ pelvic upward Rot ³ (°)*	-2.58±2.17 [†]	-1.53±2.54 [†]	-1.40±3.11 [†]	-1.91±3.05 [†]	-3.75±1.72
Mean pelvic ER ⁵ (°)*	0.93±2.96	-2.86±4.65 [†]	-4.29±7.66 ^{†,a}	-6.31±7.23 ^{†,a}	-0.07±2.13
Max. ¹ pelvic ER ⁵ (°)*	-2.78±4.06	-7.79±6.71 ^{†,a}	-9.54±8.10 ^{†,a}	-13.38±8.23 ^{†,a,b,c}	-4.27±2.47
Min. ⁴ pelvic ER ⁵ (°)*	4.73±3.09	2.09±4.17 [†]	0.58±7.77 ^{†,a}	0.53±7.27 ^{†,a}	4.63±3.07
Pelvic Rot ³ ROM ² (°)*	7.51±4.27	9.89±5.70	10.11±4.41 ^a	13.91±5.24 ^{†,a,b,c}	8.90±3.19

1. Max; maximal, 2. ROM; range of motion, 3. Rot; rotation, 4. Min; minimal, 5. ER; external rotation

Values are mean ± standard deviation

*; p<0.05(between four groups),[†] ; p<0.05(vs. normal group)

a; p<0.05(vs. group 1), b; p<0.05(vs. group 2), c; p<0.05(vs. group 3)

나. 고관절의 운동형상학적 지표 비교

유각기 최대 고관절 굴곡 각도는 정상군의 평균 39.29도에 비해 3, 4군에서 평균 34.25도, 30.80도로 통계학적으로 의미있게 작았고, 환자군 내 비교시 4군이 1, 2군의 평균 39.60도, 38.07도에 비해 통계학적으로 의미있게 작

았다. 입각기 최소 고관절 굴곡 각도(최대 고관절 신전 각도)는 정상군의 평균 -3.79° (3.79° 고관절 신전)에 비해 환자군에서 모두 의미있게 증가하였는데 3, 4군에서 평균 13.60° , 10.57° 로 1, 2군의 평균 7.34° , 4.80° 에 비해 통계학적으로 의미있게 증가하여 3, 4군에서 입각기에 고관절 신전이 작았다($p < 0.05$)(Fig.3).

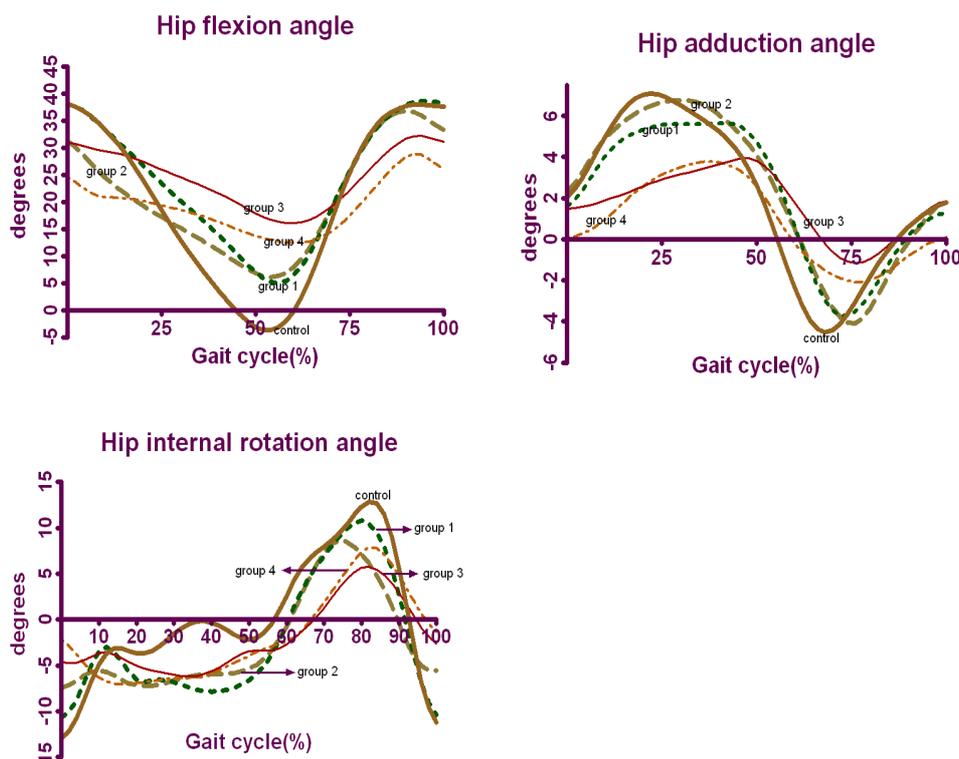


Fig 3. Hip kinematic data.

최대 고관절 외전(abduction)은 3군에서만 평균 -2.52° (외전 2.52°)로 정상군의 평균 -5.05° (외전 5.05°)에 비해 의미있게 적었으나, 환자군 내 비교 시 각 군간에 차이는 없었다. 최대 고관절 내전(adduction)은 3, 4군에서 평균 5.76° , 5.34° 로 정상군의 평균 7.67° 에 비해 의미있게 적었으나 환자군 내 비교 시 차이는 없었다(Fig.3).

최대 고관절 외회전(external rotation)은 환자군과 정상군, 환자군 내 비교 시 차이가 없었다. 최대 고관절 내회전(internal rotation)은 3군에서만 평균 10.56도로 정상군의 평균 17.33도에 비해 의미있게 작았고, 환자군 내 비교 시 차이는 없었다(Fig.3, Table 9).

Table 9. Comparison of kinematic data in hip

	Group1(n=50)	Group2(n=23)	Group3(n=45)	Group4(n=51)	Normal(n=24)
Max. ¹ hip flexion in SW ² (°)*	39.60±4.06	38.07±6.56	34.25±6.64 [†] .a	30.80±7.02 [†] .a,b	39.29±4.99
Min. ³ hip flexion in ST ⁴ (°)*	4.34±9.62 [†]	4.80±8.38 [†]	13.60±8.98 [†] .a,b	10.57±6.98 [†] .a,b	-3.79±4.10
Hip flexion at IC ⁵ (°)*	38.28±7.05	31.79±6.41 [†] .a	31.51±5.88 [†] .a	25.26±6.63 [†] .a,b,c	38.88±4.83
Max. ¹ hip Ab ⁶ (°)	-4.55±4.12	-4.74±3.51	-2.52±4.62 [†]	-3.83±4.98	-5.05±3.25
Min. ³ hip Ab ⁶ (°)	7.04±4.31	7.62±4.01	5.76±4.40 [†]	5.34±5.69 [†]	7.67±2.95
Max. ¹ hip ER ⁷ (°)	-16.48±7.83	-12.33±7.08	-13.40±8.12	-12.44±8.48	-14.96±5.80
Min. ³ hip ER ⁷ (°)	14.31±7.11	13.88±8.23	10.56±7.14 [†]	14.14±8.41	17.33±7.12

1. Max; maximal, 2. SW; swing, 3. Min; minimal, 4. ST; stance, 5. IC; initial contact, 6. Ab; abduction, 7. ER; external rotation

Values are mean ± standard deviation

*; p<0.05(between four groups),[†] ; p<0.05(vs. normal group)

a; p<0.05(vs. group 1), b; p<0.05(vs. group 2), c; p<0.05(vs. group 3)

다. 슬관절의 운동형상학적 지표 비교

초기 접지기에 슬관절의 굴곡 각도는 1, 2, 3군에서 평균 19.79도, 13.14도, 21.62도로 정상군의 평균 10.36도에 비해 통계학적으로 의미있게 컸으며, 환자군 내 비교 시 3군이 평균 21.62도로 2, 4군의 평균 13.14도, 11.74도에 비해 통계학적으로 의미있게 컸다. 중간 입각기에 슬관절의 최대 굴곡 각도는 정상군의 평균 20.00도에 비해 2, 4군에서는 평균 11.53도, 8.97도로 통계학적으로 의미있게 작았고, 1, 3군에서는 평균 27.29도, 28.12도로 정상군에 비해 의미있게 컸으며 환자군 내 비교 시 3군이 2, 4군에 비해 통계학적으로 의미있게 컸다. 유각기에 최대 슬관절 굴곡 각도는 환자군 모두에서 정상군의 평균 65.75도에 비해 의미있게 낮았는데, 1군이 평균 60.66도로 2, 3, 4군의 평균 49.23도, 39.27도, 24.08도에 비해 의미있게 높았고, 4군이 평균 24.08도로 다른 군에 비해 통계학적으로 의미있게 낮았다(Fig.4).

입각기에 최대 슬관절 외반(valgus) 각도는 1, 3군에서 평균 -6.11도(외반 6.11도), -5.80도(외반 5.80도)로 정상군의 평균 -3.30도(외반 3.30도)에 비해 통계학적으로 의미있게 컸으며, 4군이 평균 -2.44도(외반 2.44도)로 1, 3군에 비해 통계학적으로 의미있게 작았다($p < 0.05$)(Fig. 4, Table 10).

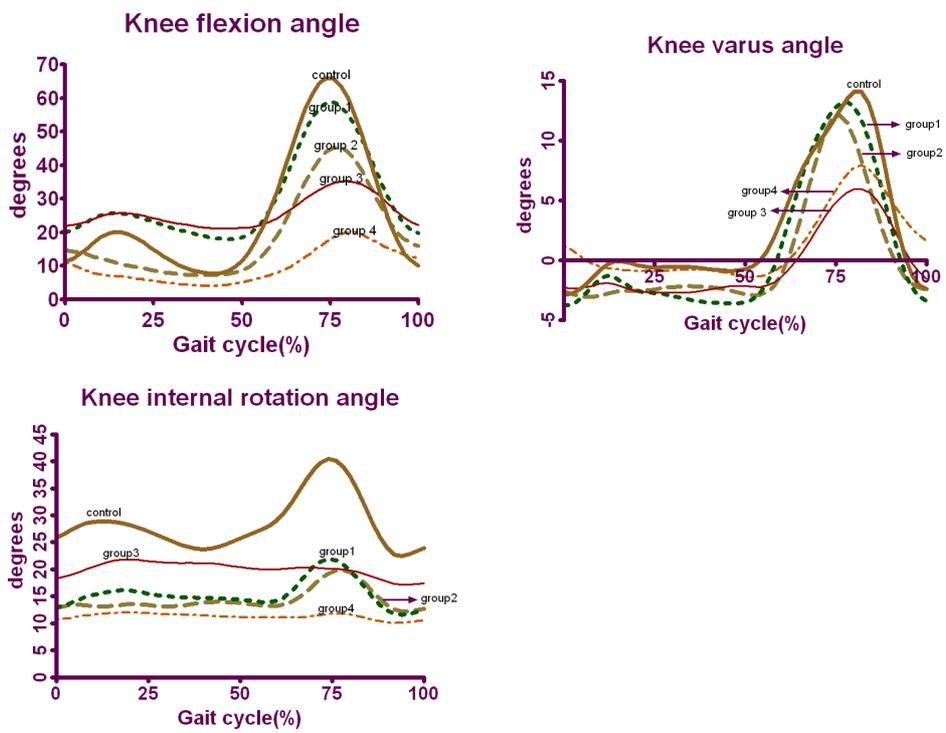


Fig 4. Knee kinematic data.

Table 10. Comparison of kinematic data in knee

	Group1(n=50)	Group2(n=23)	Group3(n=45)	Group4(n=51)	Normal(n=24)
Knee flexion at IC ¹ (°)*	19.79±7.84 [†]	13.14±4.29 ^{†,a}	21.62±7.56 ^{†,b}	11.74±4.75 ^{a,c}	10.36±4.79
Peak knee flexion at MS ² (°)*	27.29±6.04 [†]	11.53±5.95 ^{†,a}	28.12±6.95 ^{†,b}	8.97±6.33 ^{†,a,c}	20.00±4.92
Knee flexion at TO ³ (°)*	54.33±6.89 [†]	39.17±8.79 ^a	31.17±6.84 ^{†,a,b}	14.14±8.52 ^{†,a,b,c}	38.83±6.59
Peak knee flexion in SW ⁴ (°)*	60.66±6.55 [†]	49.23±6.89 ^{†,a}	39.27±6.68 ^{†,a,b}	24.08±7.48 ^{†,a,b,c}	65.75±4.23
Min. ⁵ knee flexion at ST ⁶ (°)*	15.17±6.59 [†]	4.34±4.69 ^a	15.26±8.31 ^{†,b}	2.15±4.80 ^{†,a,c}	6.32±2.98
Max. ⁷ knee varus at ST ⁶ (°)*	9.23±6.28 [†]	6.68±7.54 [†]	3.92±5.21 ^a	4.37±5.91 ^a	2.33±2.95
Min. ⁵ knee varus at ST ⁶ (°)*	-6.11±4.27 [†]	-4.68±3.19	-5.80±4.52 [†]	-2.44±2.76 ^{a,c}	-3.30±3.49
Max. ⁷ knee valgus at SW ⁴ (°)*	-4.04±5.21	-3.38±4.29	-3.08±5.34	-0.21±4.27 ^{†,a,c}	-2.48±3.08
Max. ⁷ knee varus at SW ⁴ (°)*	15.29±7.47	14.53±7.91	9.36±6.59 ^{†,a,b}	11.82±6.99 [†]	16.84±6.73

1. IC; initial contact, 2. MS; midstance, 3. TO; toe-off, 4. SW; swing, 5. Min; minimal, 6. ST; stance, 7. Max; maximal

Values are mean ± standard deviation

*; p<0.05(between four groups),[†] ; p<0.05(vs. normal group)

a; p<0.05(vs. group 1), b; p<0.05(vs. group 2), c; p<0.05(vs. group 3)

라. 족관절의 운동형상학적 지표 비교

초기 접지기 족배굴곡은 정상군의 평균 2.68도에 비해 환자군 모두에서 통계학적으로 유의하게 낮았으며, 환자군 내 비교 시 2, 4군에서 평균 -9.41도, -7.89도로 1, 3군의 평균 -0.45도, -2.57도에 비해 통계학적으로 유의하게 낮았다. 입각기의 최대 족배굴곡 각도는 1군에서 평균 18.82도로 정상군의 평균 16.12도에 비해 유의하게 높았고, 2, 3, 4군은 평균 11.71도, 12.38도, 5.42도로 정상군에 비해 통계학적으로 유의하게 낮았다. 그리고 환자군 내에서는 1군이 다른 군에 비해 유의하게 높고, 4군이 다른 군에 비

해 유의하게 낮았다. 보행주기의 98% 지점에서의 족배굴곡 각도는 정상군의 평균 2.60도에 비해 2, 3, 4군에서 평균 -9.21도, -2.21도, -8.11도로 통계학적으로 의미있게 낮았으며, 1군은 평균 -0.45도로 정상군과 의미있는 차이를 보이지 않았다. 환자군 내 비교 시 2, 4군에서 1, 3군에 비해 통계학적으로 의미있게 낮았다. 발가락 떼기시 족저굴곡 각도는 정상군의 평균 -8.82도(족저굴곡 8.82도)에 비해 환자군 내에서 모두 통계학적으로 의미있게 낮았으며, 3군에서 평균 4.06도(족배굴곡 4.06도)로 1, 2, 4군의 평균 -3.84도, -2.32도, -0.49도에 비해 통계학적으로 의미있게 높아서 족저굴곡이 감소함을 알 수 있었다. 그러나 1, 2, 4군 내에서는 통계학적으로 의미있는 차이를 보이지는 않았다($p < 0.05$)(Fig.5, Table 11).

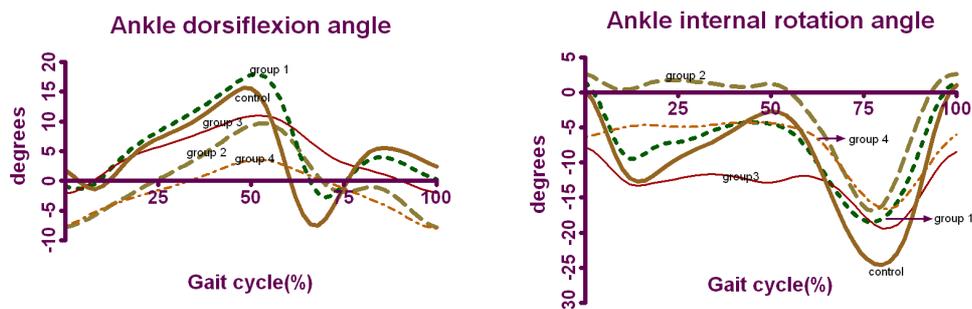


Fig 5. Ankle kinematic data.

Table 11. Comparison of kinematic data in ankle

	Group1(n=50)	Group2(n=23)	Group3(n=45)	Group4(n=51)	Normal(n=24)
Max. ¹ ankle DF ² in ST ³ (°)*	18.82±4.55 [†]	11.71±5.82 ^{†,a}	12.38±5.16 ^{†,a}	5.42±6.22 ^{†,a,b,c}	16.12±3.10
Ankle DF ² at 98% GC ⁴ (°)*	-0.70±5.80	-9.21±9.73 ^{†,a}	-2.21±7.71 ^{†,b}	-8.11±7.80 ^{†,a,c}	2.60±3.03
Ankle DF ² at IC ⁵ (°)*	-0.45±5.57 [†]	-9.41±8.76 ^{†,a}	-2.57±7.37 ^{†,b}	-7.89±7.38 ^{†,a,c}	2.68±2.78
Max. ¹ ankle PF ⁶ at PO ⁷ (°)*	-3.84±7.20 [†]	-2.32±10.76 [†]	4.06±6.57 ^{†,a,b}	-0.49±7.39 ^{†,c}	-8.82±4.95

1. Max; maximal, 2. DF; dorsiflexion, 3. ST; stance, 4. GC; gait cycle, 5. IC; initial contact, 6. PF; plantarflexion, 7. PO; push-off

Values are mean ± standard deviation

*; p<0.05(between four groups),[†] ; p<0.05(vs. normal group)

a; p<0.05(vs. group 1), b; p<0.05(vs. group 2), c; p<0.05(vs. group 3)

5. 운동역학적 지표 비교

가. 고관절의 운동역학적 지표

입각기 최대 고관절 굴곡 모멘트는 정상군의 평균 -0.64Nm/kg(굴곡 모멘트 0.64Nm/kg)에 비해 환자군 모두에서 통계학적으로 의미있게 작았고, 1군에서 평균 -0.40Nm/kg로 2, 3, 4군의 평균 -0.38Nm/kg, -0.29Nm/kg, -0.16Nm/kg에 비해 통계학적으로 의미있게 컸다. 입각기 최대 고관절 신전 모멘트는 정상군의 평균 0.82Nm/kg(신전 모멘트 0.82Nm/kg)에 비해 환자군 모두에서 통계학적으로 의미있게 작았으나, 환자군 내 비교 시 1군에서 평균 0.57Nm/kg로 2, 3, 4군의 평균 0.26Nm/kg, 0.35Nm/kg, 0.28Nm/kg에 비해 의미있게 고관절 신전 모멘트가 컸다(Fig 6).

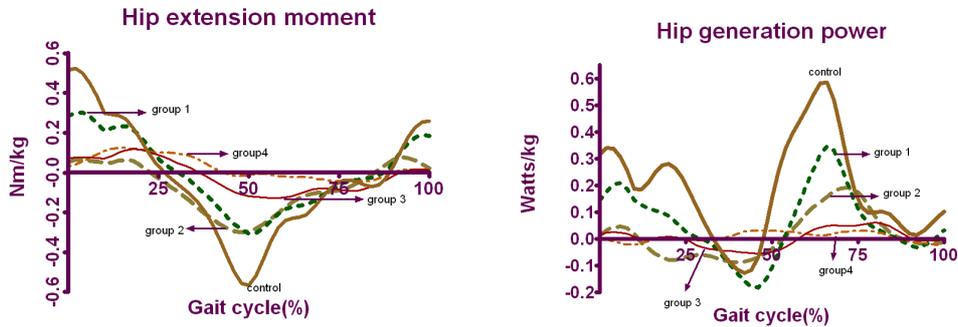


Fig 6. Hip kinetic data.

입각기 고관절 일률의 생성에서 정상군의 평균 0.69Watts/kg 에 비해 2, 3, 4군에서 평균 0.36Watts/kg , 0.29Watts/kg , 0.17Watts/kg 로 통계학적으로 의미있게 작았으며, 1군에서는 평균 0.63Watts/kg 로 정상군과 별다른 차이를 보이지 않는 정도로 컸다. 그리고 환자군 내 비교 시는 3, 4군이 1군에 비해 통계학적으로 의미있게 작았다. 입각기 고관절 일률의 흡수는 정상군의 평균 -0.27Watts/kg (일률의 흡수 0.27Watts/kg)에 비해 1, 2군에서 평균 -0.37Watts/kg , -0.30Watts/kg 로 컸으나, 1군의 값만이 통계학적으로 의미있는 차이였으며 4군에서는 평균 -0.13Watts/kg 로 정상군과 비교해 통계학적으로 의미 있게 작았다. 그리고 환자군 내 비교 시 4군이 1, 2군에 비해 작았고, 3군은 1군에 비해 작았다. 전유각기(preswing) 고관절 일률의 생성도 정상군의 평균 0.52Watts/kg 에 비해 2, 3, 4군에서 평균 0.26Watts/kg , 0.12Watts/kg , 0.06Watts/kg 로 통계학적으로 의미있게 작았으며 1군에서는 평균 0.52Watts/kg 로 정상과 별다른 차이가 없었고, 환자군 내 비교 시 4군이 1, 2군에 비해 통계학적으로 의미있게 작았다(Fig 6).

입각기 최대 고관절 외전 모멘트는 3, 4군에서 평균 0.68Nm/kg , 0.71Nm/kg 로 정상군의 평균 0.87Nm/kg 에 비해 통계학적으로 의미있게 작았고, 1, 2군은 평균 0.81Nm/kg , 0.82Nm/kg 로 정상군과 별다른 차이가 없었으나, 환자군 내 비교 시 의미있는 차이는 보이지 않았다. 입각기 최대

고관절 회전 모멘트(최대 내회전 모멘트)는 1, 3, 4군이 평균 0.04Nm/kg, 0.04Nm/kg, 0.06Nm/kg으로 정상군의 평균 0.09Nm/kg에 비해 통계학적으로 의미있게 작았고, 2군은 평균 0.07Nm/kg로 정상군과 의미있는 차이는 아니었다. 환자군 내 비교 시는 3군이 2, 4군에 비해 의미있게 작았다 ($p<0.05$)(Table 12).

Table 12. Comparison of kinetic data in hip

	Group1(n=50)	Group2(n=23)	Group3(n=45)	Group4(n=51)	Normal(n=24)
Max. ¹ hip flexion Mom ² at ST ³ (Nm/kg)*	-0.40±0.21 [†]	-0.38±0.23 [†]	-0.29±0.20 ^{†,a}	0.16±0.14 ^{†,a,b,c}	-0.64±0.13
Max. ¹ hip extension Mom ² at ST ³ (Nm/kg)*	0.57±0.30 [†]	0.26±0.15 ^{†,a}	0.35±0.27 ^{†,a}	0.28±0.20 ^{†,a}	0.82±0.21
Max. ¹ hip Gen ⁴ at ST ³ (Watts/kg)*	0.63±0.46	0.36±0.23 ^{†,a}	0.29±0.42 ^{†,a}	0.17±0.12 ^{†,a}	0.69±0.25
Max. ¹ hip Abs ⁵ at ST ³ (Watts/kg)*	-0.37±0.28 [†]	-0.30±0.18	-0.21±0.19 ^a	-0.13±0.13 ^{†,a,b}	-0.27±0.13
Max. ¹ hip Gen ⁴ at PSW ⁶ (Watts/kg)*	0.52±0.36	0.26±0.20 ^{†,a}	0.12±0.10 ^{†,a}	0.06±0.10 ^{†,a,b}	0.52±0.21
Max. ¹ hip Add ⁷ Mom ² at ST ³ (Nm/kg)	-0.05±0.08 [†]	-0.04±0.08 [†]	-0.06±0.12	-0.04±0.15	-0.10±0.08
Min. ⁸ hip Add ⁷ Mom ² at ST ³ (Nm/kg)	0.81±0.21	0.82±0.27	0.68±0.29 [†]	0.71±0.40 [†]	0.87±0.23
Max. ¹ hip Rot ⁹ Mom ² at ST ³ (Nm/kg)*	0.04±0.04 [†]	0.07±0.06	0.04±0.03 ^{†,b}	0.06±0.06 ^{†,c}	0.09±0.05
Min. ⁸ hip Rot ⁹ Mom ² at ST ³ (Nm/kg)*	-0.15±0.07	-0.06±0.07 ^{†,a}	-0.10±0.75 ^a	-0.03±0.04 ^{†,a,c}	-0.13±0.08

1. Max; maximal, 2. Mom; moment, 3. ST; stance, 4. Gen; generation, 5. Abs; absorption, 6. PSW; pre-swing, 7. Add; adduction, 8. Min; minimal, 9. Rot; rotation

Values are mean ± standard deviation

*; $p<0.05$ (between four groups), [†] ; $p<0.05$ (vs. normal group)

a; $p<0.05$ (vs. group 1), b; $p<0.05$ (vs. group 2), c; $p<0.05$ (vs. group 3)

나. 슬관절의 운동역학적 지표

최대 슬관절 굴곡 모멘트는 정상군의 평균 -0.34Nm/kg(굴곡 모멘트 0.34Nm/kg) 에 비해 1, 2, 3군에서 평균 -0.24Nm/kg, -0.23Nm/kg,

-0.14Nm/kg로 통계학적으로 의미있게 작았고, 4군은 평균 -0.30Nm/kg로 정상군에 비해 의미있는 차이가 없었다. 환자군 내 비교 시 3군에서 1, 4군에 비해 의미있게 낮은 슬관절 굴곡 모멘트를 보였다.

최대 슬관절 신전 모멘트는 정상군의 평균 0.17Nm/kg에 비해 1, 3군에서 평균 0.40Nm/kg, 0.33Nm/kg으로 통계학적으로 의미있게 컸고, 4군은 평균 0.08Nm/kg로 정상군보다 의미있게 작았다. 환자군 내 비교 시 4군이 다른 군에 비해 의미있게 슬관절 신전 모멘트가 작았고, 1, 3군이 2, 4군에 비해 의미있게 컸다(Fig 7).

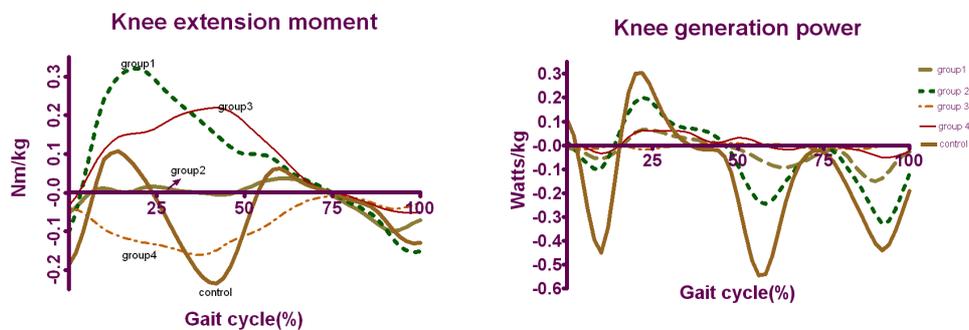


Fig 7. Knee kinetic data.

입각기 최대 슬관절 일률의 생성은 정상군의 평균 0.41Watts/kg에 비해 2, 3, 4군에서 평균 0.19Watts/kg, 0.27Watts/kg, 0.11Watts/kg로 통계학적으로 의미있게 적었으며, 1군은 평균 0.40Watts/kg으로 정상군과 별다른 차이를 보이지 않았다. 그리고 환자군 내 비교 시 4군이 가장 작았으며, 1, 3군에 비해 통계학적으로 의미있게 작았다. 입각기 최대 슬관절 일률의 흡수는 정상군의 평균 -0.95Watts/kg(일률의 흡수 0.95Watts/kg)에 비해 환자군에서 모두 통계학적으로 의미있게 작았는데, 2, 3, 4군에서 평균 -0.30Watts/kg, -0.21Watts/kg, -0.15Watts/kg로 1군의 -0.55Watts/kg에 비해 통계학적으로 의미있게 작았다(Fig.7).

최대 슬관절 외반(valgus) 모멘트는 정상군의 평균 0.61Nm/kg에 비해 환

자군에서 모두 통계학적으로 의미있게 작았으며, 4군이 평균 0.31Nm/kg으로 가장 작았고, 이는 1군의 평균 0.46Nm/kg에 비해 통계학적으로 의미있게 작았고 2, 3, 4군 간에는 의미있는 차이는 없었다($p<0.05$)(Table 13).

Table 13. Comparison of kinetic data in knee

	Group1(n=50)	Group2(n=23)	Group3(n=45)	Group4(n=51)	Normal(n=24)
Peak knee Fl ¹ Mom ² (Nm/kg)*	-0.24±0.17 [†]	-0.23±0.12 [†]	-0.14±0.13 ^{†,a}	-0.30±0.19 ^c	-0.34±0.12
Peak knee Ex ³ Mom ² (Nm/kg)*	0.40±0.19 [†]	0.20±0.19 ^a	0.33±0.19 ^{†,b}	0.08±0.08 ^{†,a,b,c}	0.17±0.11
Max. ⁴ knee Gen ⁵ at ST ⁶ (Watts/kg)*	0.40±0.22	0.19±0.17 ^{†,a}	0.27±0.18 ^{†,a}	0.11±0.09 ^{†,a,c}	0.41±0.19
Max. ⁴ knee Abs ⁷ at ST ⁶ (Watts/kg)*	-0.55±0.31 [†]	-0.30±0.25 ^{†,a}	-0.21±0.18 ^{†,a}	-0.15±0.13 ^{†,a}	-0.95±0.54
Max. ⁴ knee valgus Mom ² (Nm/kg)*	0.46±0.21 [†]	0.35±0.21 [†]	0.39±0.25 [†]	0.31±0.23 ^{†,a}	0.61±0.23

1. Fl; flexion, 2. Mom; moment, 3. Ex; extension, 4. Max; maximal, 5. Gen; generation, 6. ST; stance, 7. Abs; absorption

Values are mean ± standard deviation

*; $p<0.05$ (between four groups),[†] ; $p<0.05$ (vs. normal group)

a; $p<0.05$ (vs. group 1), b; $p<0.05$ (vs. group 2), c; $p<0.05$ (vs. group 3)

다. 족관절의 운동역학적 지표

최대 족배굴곡 모멘트는 정상군의 평균 -0.08Nm/kg(족배굴곡 모멘트 0.08Nm/kg)에 비해 2, 3, 4군에서 평균 -0.04Nm/kg, -0.02Nm/kg, -0.02Nm/kg로 통계학적으로 의미있게 작았으며, 환자군 내 비교 시 3, 4군이 1군의 평균 -0.06Nm/kg에 비해 통계학적으로 의미있게 낮았고 3, 4군 간에 차이는 없었다. 최대 족저굴곡 모멘트는 정상군의 평균 1.28Nm/kg에 비해 환자군 모두에서 통계학적으로 의미있게 작았고, 환자군 내 비교 시

2, 3, 4군이 평균 0.66Nm/kg, 0.69Nm/kg, 0.55Nm/kg로 1군의 평균 1.04Nm/kg에 비해 의미있게 작았고, 이 중 4군은 1, 3군에 비해 의미있게 작았다(Fig 8). 최대 족관절 일률의 생성은 정상군의 평균 2.39Watts/kg에 비해 환자군 모두에서 통계학적으로 의미있게 작았고, 환자군 내 비교 시 2, 3, 4군은 평균 0.44Watts/kg, 0.27Watts/kg, 0.16Watts/kg로 1군의 평균 1.21Watts/kg에 비해 통계학적으로 의미있게 작았으며, 4군은 가장 작으면서 1, 2군과 의미있는 차이를 보였다(Fig 8).

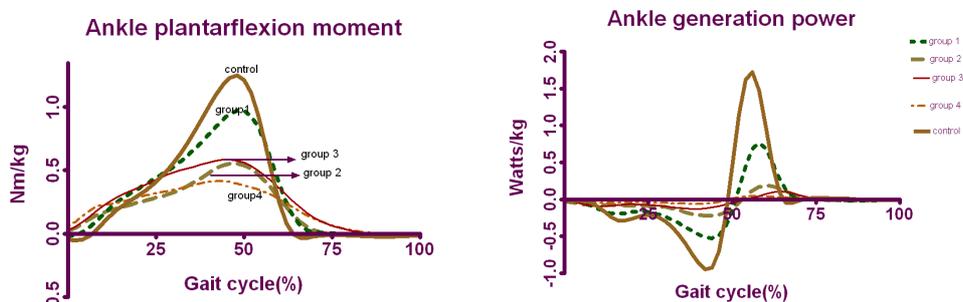


Fig 8. Ankle kinetic data

최대 족관절 외전(abduction) 모멘트는 정상군의 평균 0.14Nm/kg에 비해 환자군에서 평균 0.07Nm/kg, 0.05Nm/kg, 0.04Nm/kg, 0.05Nm/kg으로 모두 통계학적으로 의미있게 작았으나, 환자군 내에서는 별다른 차이를 보이지 않았다. 최저 족관절 외전 모멘트(최고 족관절 내전 모멘트)는 정상군과 환자군 내 의미있는 차이가 없었으며 환자군 내에서도 의미있는 차이를 보이지 않았다. 최대 족관절 회전(rotation) 모멘트(최대 족관절 내회전 모멘트)는 정상군의 평균 0.26Nm/kg에 비해 환자군 모두에서 통계학적으로 의미있게 작았으며, 4군은 평균 0.07Nm/kg로 가장 작았으며 1군의 평균 0.11Nm/kg보다 통계학적으로 의미있게 작았다($p < 0.05$)(Table 14).

Table 14. Comparison of kinetic data in ankle

	Group1(n=50)	Group2(n=23)	Group3(n=45)	Group4(n=51)	Normal(n=24)
Peak ankle DF ¹ Mom ² (Nm/kg)*	-0.06±0.09	-0.04±0.04 [†]	-0.02±0.03 ^{†,a}	-0.02±0.02 ^{†,a}	-0.08±0.05
Peak ankle PF ³ Mom ² (Nm/kg)*	1.04±0.25 [†]	0.66±0.27 ^{†,a}	0.69±0.26 ^{†,a}	0.55±0.23 ^{†,a,c}	1.28±0.15
Peak ankle Gen ⁴ (Watts/kg)*	1.21±0.56 [†]	0.44±0.49 ^{†,a}	0.27±0.24 ^{†,a}	0.16±0.18 ^{†,a,b}	2.39±0.66
Peak ankle Abs ⁵ (Watts/kg)*	-0.69±0.28 [†]	-0.40±0.30 ^{†,a}	-0.33±0.51 ^{†,a}	-0.14±0.11 ^{†,a,b,c}	-1.08±0.32
Max. ⁶ ankle Abd ⁷ Mom ² (Nm/kg)	0.07±0.08 [†]	0.05±0.05 [†]	0.04±0.06 [†]	0.05±0.06 [†]	0.14±0.10
Min. ⁸ ankle Abd ⁷ Mom ² (Nm/kg)	-0.08±0.08	-0.10±0.09	-0.08±0.07	-0.07±0.08	-0.06±0.08
Max. ⁶ ankle Rot ⁹ Mom ² (Nm/kg)*	0.11±0.10 [†]	0.10±0.07 [†]	0.08±0.06 [†]	0.07±0.05 ^{†,a}	0.26±0.13
Min. ⁸ ankle Rot ⁹ Mom ² (Nm/kg)	-0.05±0.05 [†]	-0.04±0.05 [†]	-0.04±0.04 [†]	-0.03±0.04	-0.02±0.02

1. DF; dorsiflexion, 2. Mom; moment, 3. PF; plantarflexion, 4. Gen; generation, 5. Abs; absorption, 6. Max; maximal, 7. Abd; abduction, 8. Min; minimal, 9. Rot; rotation

Values are mean ± standard deviation

*; p<0.05(between four groups),[†] ; p<0.05(vs. normal group)

a; p<0.05(vs. group 1), b; p<0.05(vs. group 2), c; p<0.05(vs. group 3)

6. 에너지 소모량 비교

O₂ 소모율(O₂ rate)은 4군에서 평균 9.14ml/kg · min으로 가장 작고 1군에서 10.52ml/kg · min으로 가장 컸으나 통계학적으로 의미있는 차이는 아니었다. O₂ 소모비(O₂ cost)는 3, 4군에서 평균 0.81ml/kg · m, 0.90ml/kg · m로 1, 2군의 평균 0.32ml/kg · m, 0.43ml/kg · m에 비해 통계학적으로 의미있게 컸다(p<0.05)(Table 15).

Table 15. Comparison of energy consumption data

	Group1(n=50)	Group2(n=23)	Group3(n=45)	Group4(n=51)
O ₂ cost(ml/kg · m)*	0.32±0.23	0.43±0.21	0.81±0.57 ^{a,b}	0.90±0.53 ^{a,b}
O ₂ rate(ml/kg · min)	10.52±5.06	9.39±4.84	10.50±6.03	9.14±4.61

Values are mean ± standard deviation

*; p<0.05(between four groups),† ; p<0.05(vs. normal group)

a; p<0.05(vs. group 1), b; p<0.05(vs. group 2)

Table 16. Summary of results

	Group1(n=50)	Group2(n=23)	Group3(n=45)	Group4(n=51)	
Speed	fast	moderate	slow	slow	
Kinematic data	Pelvis	↑ anterior tilting	↑ anterior tilting	↑ ↑ anterior tilting	
	Hip		↓ ↓ Ex ⁸ in TS ⁹ ↓ Fl ⁴ in SW ⁶	↓ Ex ⁸ in TS ⁹ ↓ ↓ Fl ⁴ in SW ⁶	
	Knee	↑ Fl ⁴ in ST ⁵ normal SW ⁶	↑ Ex ⁸ in ST ⁵ ↓ Fl ⁴ in SW ⁶	↑ ↑ Fl ⁴ in ST ⁵ stiff-knee pattern	↑ Ex ⁸ in ST ⁵ ↓ ↓ Fl ⁴ in SW ⁶
	Ankle	↑ DF ⁷ in ST ⁵		↓ ↓ DF ⁷ in SW ⁶	↓ ↓ DF ⁷ in ST ⁵ ↓ ↓ DF ⁷ in SW ⁶
Power Gen ¹ .& Abs ² .	high	intermediate	low	low	
MMT ³	good	moderate	poor	poor	
Spasticity	low	intermediate	high	high	
O ₂ cost	moderate	moderate	high	high	

1. Gen; generation, 2. Abs; absorption, 3. MMT; manual muscle test, 4.

Fl; flexion, 5. ST; stance, 6. SW; swing, 7. DF; dorsiflexion, 8. Ex;

extension, 9. TS; terminal stance

IV. 고 찰

본 연구에서는 편마비 환자에서 슬관절의 운동형상학적 특성에 따라 편마비 보행을 네 군으로 분류할 수 있었다.

슬관절의 시상면에서의 운동형상학적 결과 중 4가지 지표를 기준으로 환자군을 군집 분석하였으며 각 군의 운동형상학적, 운동역학적, 시공간적 결과와 에너지 소모량을 비교하였는데 이전의 연구들에서는 대부분 보행 속도와 여러 관절의 운동형상학적 결과를 기준으로 분류하였으며 각 군의 비교 역시 주로 시공간적, 운동형상학적 결과만을 비교하는 경우가 많았고 특히 에너지 소모량에 대한 비교는 미미하였다. 슬관절을 중심으로 분류한 것은 보행 시 가장 관절운동각도 범위가 크면서 육안으로 보기에 환자별로 차이를 쉽게 알아낼 수 있는 관절이기 때문이었다. 이렇게 비교적 쉽게 관찰할 수 있는 관절을 기준으로 환자군을 분류하게 되면 분석 결과가 더 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 생각된다.

1군(경미굴곡군, mild flexed group)은 가장 속도가 빠르면서 중간 입각기에 슬관절 굴곡이 정상군에 비해 약간 증가되어 있고 유각기에는 거의 정상과 유사한 군으로 입각기 최대 족배굴곡 각도가 정상과 비슷한 정도로 크며, 각 관절의 일률의 생성과 흡수가 가장 큰 군이다. 2군(전반슬군, genu recurvatum group)은 중간 정도의 속도를 가지며 입각기에 슬관절이 과신전되고 유각기에 슬관절의 굴곡이 약간 감소하는 군으로 골반의 전방굴곡각도가 증가되어 있고, 일률의 생성과 흡수가 중간 정도이다. 3군(뻣다리군, stiff-knee group)은 보행 속도가 느리며 입각기에 슬관절 굴곡이 과도하게 일어나고 유각기에도 슬관절 굴곡이 적은 뻣다리 보행 양상이며 골반의 전방굴곡각도가 크고, 말기 입각기의 고관절 신전이 많이 감소되어 굴곡되어 있고, 입각기에 족배굴곡이 거의 일어나지 않는 양상이다. 4군(신전밀침군, extension thrust group)은 가장 속도가 느리며 입각기에 슬관절이 과신전되고 유각기에는 3군과 유사하게 슬관절 굴곡이 저하되어 있으며 골반의 전방굴곡각도가 가장 크며 말기 입각기에 고관절의 신전이

3군에 이어 적게 일어나고 유각기에 고관절 굴곡은 네 군 중 가장 떨어져 있다. 그리고 입각기에 최대 족관절 굴곡각도도 가장 떨어지면서 유각기에 족배굴곡이 거의 일어나지 않는 양상을 보인다.

슬관절 각도의 진폭(amplitude)의 감소를 보이는(뼈정다리 보행) 것은 본 연구에서 3군, 4군에 해당한다고 볼 수 있으며, 뼈정다리 보행의 특징으로 알려진 뒤축딛기(heel strike)시에 슬관절 굴곡 각도의 증가는 3군에서 두드러지며, 발가락 떼기(toe-off)시와 유각기에 슬관절 굴곡 각도의 감소는 4군에서 특히 잘 관찰되었다.¹⁰ 중간 입각기에 2군과 4군에서 슬관절 신전이 증가하고, 1군과 3군에서는 정상에 비해 슬관절 굴곡이 증가된 양상이었다.

Yang 등¹¹은 슬관절의 굴곡을 제한할수록, 보행 속도가 감소하고 에너지 소모가 증가한다고 하였는데 본 연구에서도 유각기 슬관절 굴곡 각도와 중간 입각기 슬관절 굴곡 각도가 가장 적은 4군에서 보행 속도가 가장 느리고, 에너지 소모도 가장 컸다. 유각기 슬관절 굴곡의 감소는 임상적으로 몇 가지 측면에서 중요성을 띄는데, 우선 슬관절 굴곡의 감소로 인한 발끝림(toe drag)을 야기시키고, 큰 관성(inertia)을 만들어 내어 유각기를 시작하기 위한 에너지 소모가 상당히 증가하게 만든다.^{12,13} 그리고, 감소된 슬관절 굴곡은 회선(circumduction), 뒤꿈치 들기(vaulting), 상방 골반경사(upward pelvic tilting) 등의 보상작용을 동반하게 되는데 이런 보상작용들은 에너지 소모면에서 비효율적이다.^{14,15}

유각기에 4군에서 다른 군에 비해 낮은 최대 슬관절 굴곡을 보이는 것은 유각기의 하지추진(limb advancement)에 심한 장애를 의미하는데, 일반적으로 유각기 고관절 굴곡 각도의 감소에 따른 유각기 슬관절 굴곡 각도의 감소로 인해 하지추진의 감소가 발생한다고 설명되는데 본 연구 역시 4군에서 유각기에 의미 있는 고관절 굴곡의 감소를 확인할 수 있었다.^{16,17,18}

분당 에너지 소모를 의미하는 산소 소모율(O_2 rate)은 각 군 간에 의미 있는 차이를 보이지 않았으나, 보행 단위 거리당 에너지 소모를 의미하는 산소 소모비(O_2 cost)의 경우 4군에서 가장 높았으며, 이는 1, 2군과 의미있

는 차이였다. 4군의 O₂ 소모비 값은 20-59세 정상 성인의 O₂ 소모비 평균 값인 0.15 mg/kg*m 에 비해 6배 정도 높았다.¹⁹ 편마비 환자의 경우 보행 속도가 감소하기 때문에 산소 소모율은 정상과 비슷하나, 보행 속도를 고려한 산소 소모비는 높다는 보고와 일치한다.^{20,21} 즉, 뼈정다리 보행 시 보행의 효율성이 떨어지는 것으로 보인다. 보행 속도도 3, 4군에서 정상 성인 평균 보행 속도에 비해 각각 18.7%, 12.6% 정도로 매우 느렸다.

Wall 과 Turnbull²² 및 Hill 등²³의 보고에 의하면 한쪽다리딛기시간 비대칭비는 중등도 뇌졸중(moderate stroke)환자에서 대략 53%에서 66%정도 라고 하는데, 본 연구에서는 가장 컸던 4군에서도 평균 46.7%로 차이를 보였다. 한쪽다리딛기시간은 정상군에서는 양쪽다리딛기시간보다 큰데, 편마비 환자군에서는 양쪽다리딛기시간이 한쪽다리딛기시간보다 크게 나온 것은 Chen 등²⁴의 연구과 일치하였다.

최대 전방골반경사(pelvis anterior tilting)는 4군에서 가장 컸으며 1, 3군에 비해 유의한 차이를 보였는데 Perry²⁵에 의하면 전방골반경사의 원인으로 고관절 신전근의 위약과 고관절 굴곡근의 구축 또는 경직으로 설명하는데, 본 연구에서는 3, 4군에서 고관절 신전근 근력이 1군에 비해 유의하게 감소함을 보여 다소 차이를 보였으나, 고관절 굴곡근의 경직은 4군에서 다른 군에 비해 의미있게 높았던 점은 일치한다. 그리고 유각기 동안 최대 골반회전(upward rotation) 각도가 4군에서 다른 군에 비해 증가하였는데, 이는 슬관절 굴곡이 적어 하지의 기능적 길이가 늘어남으로 인해 발 끌림(foot drag)이 발생하므로, 이를 보상하기 위해 골반을 상방으로 올리는 현상이 일어난 것으로 생각된다. 최대 골반내회전은 3, 4군에서 1군에 비해 유의하게 작았고 1군은 정상과 비슷하여, 고관절 굴곡근의 위약시 골반의 내회전이 하지 추진(limb advancement)을 도와주는 수단이 된다는 이전 보고를 볼 때 1군이 가장 보상작용이 잘 이루어진다고 볼 수 있겠다.²⁶

유각기에 고관절의 굴곡 각도는 3, 4군에서 다른 군에 비해 유의하게 낮았는데, Perry²⁵에 의하면 고관절 굴곡의 감소는 주로 굴곡근의 약화로 인한 것으로 일반적으로 근력이 poor + 정도만 되어도 평균 보행은 가능하나,

고관절 굴곡근의 약화는 고관절 굴곡의 지연과 고관절 가동범위의 감소를 야기한다고 하며, 본 연구에서도 이를 확인할 수 있었다. 일반적으로 마비성 보행(paralytic gait)에서 슬관절 외반이 흔히 나타난다고 하는데, 이는 고관절을 안정화(stabilization)시키기 위한 몸통의 측방기울임(lateral trunk lean)을 이용하고자 하는 것이라고 한다. 본 연구에서 입각기에 최대 슬관절 외반 각도는 1군에서 정상에 비해 의미있게 컸다.

입각기에 최대 족배굴곡 각도를 보면 1군에서 정상군보다도 의미있게 컸는데 이는 전방진진(forward progression)을 최대화하기 위해 입각기에 과도한 족배굴곡을 보이면서 빠른 속도를 보인다는 보고와 일치한다.⁷ 반면 4군은 최대 족배굴곡 각도가 다른 군에 비해 의미있게 작았다. 발가락 떼기시의 최대 족저굴곡 각도는 정상군에 비해 환자군 모두에서 의미있게 감소하였는데, 특히 3군은 다른 군에 비해 유의하게 족저굴곡이 저하되어 있었다. 이는 발가락 떼기시의 족저굴곡의 저하로 인한 유각기에 슬관절 굴곡의 감소로 생각해 볼 수 있으며, 부적절한 슬관절 굴곡시 전유각기에 족관절의 족저굴곡이 저하된다는 Perry²⁵의 보고와 일치하는 결과였다. 4군에서도 역시 족저굴곡의 감소를 보여, 유각기시 슬관절 굴곡이 저하된 3, 4군에서 발가락 떼기시 족저굴곡의 감소를 확인하였다.

관절의 힘(joint power)값은 속도 의존적인 값이고 환자군 중 3, 4군에서 다른 환자군에 비해 속도가 느렸기 때문에 관절의 힘 값도 작을 것이라고 예상할 수 있다.^{26,27} 실제로 고관절의 운동역학적 지표상, 가장 빠른 속도를 보인 1군에서 입각기 고관절의 굴곡 모멘트와 신전 모멘트, 힘의 생성(power generation)과 흡수(power absorption)가 모두 증가하는 양상이었다. 반면 3, 4군에서는 고관절 힘의 생성과 흡수가 1군에 비해 감소하였다. 고관절 힘의 생성의 감소는 고관절 굴곡근의 힘(strength)의 감소를 의미하며, 정상적으로는 입각기의 끝부분 즉, 전유각기에 고관절 힘의 생성이 갑작스럽게 증가하는데 이 때 고관절 굴곡근의 동심성 수축(concentric contraction)이 일어나는 것이다. 그림 6에서 보면 환자군의 경우 고관절 굴곡근의 힘의 생성이 감소하며, 특히 3군과 4군에서 두드러지게 감소함을

알 수 있다.

슬관절에서도 입각기에 슬관절의 힘의 생성과 감소가 2, 3, 4군에서 1군에 비해 유의하게 감소하였고, 족관절의 힘의 생성과 흡수 역시 1군에서 증가, 3, 4군에서 감소하는 양상이었고, 특히 족관절 일률의 흡수는 4군에서 다른 군에 비해 의미있게 낮았다. 이는 Yang 등¹¹이 슬관절의 굴곡을 제한하여 시행한 모의보행분석과 유사한 결과로, 슬관절의 굴곡 범위가 작은 경우 하지의 힘 흡수가 감소되는 것은, 체중이 근육의 쿠션 작용 없이 직접적으로 전달되기 때문으로 생각된다. 슬관절의 모멘트 그림에서 보면 4군의 경우 대조군에서 보이는 입각기의 슬관절 신전 모멘트가 나타나지 않고 오히려 슬관절 굴곡 모멘트가 두드러지게 보이는데 이는 입각기시 슬관절 과신전과 연관지어 생각해 볼 수 있다.²⁹

본 연구는 편마비 환자의 보행을 슬관절의 운동형상학적 특성을 지표로 분류하여, 각 군의 특징을 살펴보고 슬관절 이외에도 고관절, 족관절에서의 운동형상학적, 운동역학적 지표들이 구분되는 특징을 관찰할 수 있었다. 그리고 유각기에 슬관절 굴곡의 감소를 보였던 3군과 4군의 경우 에너지 소모가 증가하였고, 보행 속도가 감소되고 보행의 좌우 비대칭도가 증가하는 비효율적인 보행 양상을 보였다.

본 연구의 연구상 한계점으로는 첫 째 하지 각 근육의 동적 근전도를 측정하지 못하였다는 것이며, 두 번째 후향적 연구를 진행하였기 때문에 보행에 영향을 미칠 수 있는 여러 인자들을 충분히 조절하지 못한 점이다. 향후 이를 보완한 연구나 비환측의 보상작용을 알아보기 위해 비환측에 대한 평가도 필요하리라 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 169명의 편마비 환자와 12명 대조군의 24개 슬관절 운동형상학적 결과를 기준으로 보행 양상을 분류하여, 각 군의 시공간적인 지표와 운동형상학적 지표, 운동역학적 지표, 에너지 소모를 평가하였다.

그 결과 분류된 네 군은 경미굴곡군(mild flexed group), 전반슬군(genu recurvatum group), 뻣다리군(stiff-knee group), 신전밀침군(extension thrust group)이었으며 슬관절의 굴곡이 적었던 뻣다리군과 신전밀침군의 경우 보행 속도가 느려지며, 좌우의 보행 비대칭성도 증가하며 에너지 소모가 증가하는 경향을 보였다. 대부분의 근육에서 뻣다리군과 신전밀침군에서 낮은 근력 정도를 보였으며 특히, 족관절의 근력은 신전밀침군에서 다른 군에 비해 의미있게 낮았다. 시상면 골반 가동범위는 신전밀침군이 다른 군에 비해 통계학적으로 의미있게 컸으며, 유각기 최대 고관절 굴곡 각도도 이 군에서 전반슬군이나 경미굴곡군에 비해 의미있게 낮았다. 그리고 입각기 최대 족배굴곡은 경미굴곡군이 정상군과 다른 군에 비해 통계학적으로 유의하게 컸으며 신전밀침군에서 가장 작았다. 또한, 각 관절에서의 일률의 생성과 흡수가 뻣다리군과 신전밀침군에서 경미굴곡군에 비해 의미있게 낮은 경향을 보였다.

편마비 환자의 환측 슬관절의 운동형상학적 자료를 근거로 보행 양상을 분류하여 본 결과 다른 관절의 운동형상학적 양상과 임상적 지표, 시공간적 지표, 에너지 소모량이 각 군별로 특징 있는 결과를 얻을 수 있었으며, 이는 향후 편마비 환자의 보행을 이해하고, 편마비 환자의 보행을 분석 및 치료하는 데에 도움을 줄 수 있으리라 생각한다.

VI. 참 고 문 헌

1. Burdett R G, Borello-France D, Blatchly C, Poptter C. Gait comparison of subjects with hemiplegia walking unbraced, with ankle-foot orthosis, and with Air-Stirrup brace. *Phys Ther* 1988; 68: 1197-203
2. Knutsson E, Richards C. Different types of disturbed motor control in gait of hemiparetic patients. *Brain* 1979; 102: 405-30
3. Lehmann JF, Condon SM, Price R, deLateur BJ. Gait abnormalities in hemiplegia: their correction by ankle-foot orthoses. *Arch Phy Med Rehabil* 1987; 68: 763-71
4. Intiso D, Santilli V, Grasso MG, Rossi R, Caruso I. Rehabilitation of walking with electromyographic biofeedback in foot drop after stroke. *Stroke* 1994; 25: 1189-92
5. Shiavi R, Bugle HJ, Limbird T. Electromyographic gait assessment, part 2: preliminary assessment of hemiparetic synergy patterns. *J Rehabil Res Dev* 1987; 24: 24-30
6. De Quervain IA, Simon SR, Leurgans S, Pease WS, McAllister D. Gait pattern in the early recovery period after stroke. *J Bone Joint Surg Am* 1996; 78: 1506-14
7. Mulroy S, Gronley J, Weiss W, Newsam C, Perry J. Cluster analysis for gait pattern classification of patients in the early and late recovery phase following stroke 2003; 18: 114-25
8. 김덕용, 박창일, 최용석, 문자영, 임종엽, 김덕영 등. 느린 보행 속도에 의한 보행 변화. *대한재활의학회지* 2007; 31: 317-23
9. 박은숙, 박창일, 조성래, 장현정. 성인 뇌성마비에서 보행시 에너지 소모량 평가. *대한재활의학회* 2004; 28: 537-41
10. Annaswamy TM, Giddings CJ, Della Croce U, Kerring DC. Rectus

femoris: its role in normal gait. *Arch Phys Med Rehabil* 1999; 80: 930-34

11. Yang L, Condie DN, Granat MH, Paul JP, Rowely DI. Effects of joint motion constraints on the gait of normal subjects and their implications on the further development of hybrid FES orthosis for paraplegic persons. *J Bio mech* 1996; 29: 217-26

12. Saunders JBD, Inman VT, Eberhart HD. The major determinants in normal and pathologic gait. *Am J Bone Joint Surg.* 1953; 35: 543-58

13. Abdulhadi HM, Kerrigan DC, LaRaia PJ. Contralateral shoe-lift: effect on oxygen cost of walking with an immobilized knee. *Arch Phys Med Rehabil.* 1996; 77: 670-2

14. Lage KJ, White SC, Yack HJ. The effects of unilateral knee immobilization on lower extremity gait mechanics. *Med Sci Sports Exerc.* 1995; 27: 8-14.

15. Kerrigan DC, Abdulhadi HM, Ribaud TA, Della Croce U. Biomechanic effects of a contralateral shoe-lift on walking with an immobilized knee. *Ach Phys Med Rehabil.* 1997; 78: 1085-1091

16. Waters RL, Garland DE, Perry J, Habbig T, Slabaugh P. Stiff-legged gait in hemiplegia: surgical correction. *J Bone Jt Surg* 1979; 61A: 927-34

17. Kerrigan DC, Gronley JK, Perry J. Stiff-legged gait in spastic paralysis: a study of quadriceps and hamstrings activity. *Am J Phy Med* 1991; 70: 294-300

18. Pizza SJ, Delp SL. The influence of muscles on knee flexion during the swing phase of gait. *J Biomech* 1996; 29: 723-33

19. Water RL, Lunsford BR, Perry J, Byrd R. Energy-speed relationship of walking: standard tables. *J Orthop Res* 1988; 6: 215-22

20. Lehmann JF, De Lateur BJL. Gait analysis: Diagnosis and

- management. In: Kottke FJ, Lehmann JF, editors. *Krusen's handbook of physical medicine and rehabilitation*, 4th ed, Philadelphia: Saunders, 1990.
21. Zamparo P, Francescato MP, De Luca G, Lovati L. The energy cost of level walking in patients with hemiplegia. *Scand J Med Sci Sports* 1995; 5: 348-52
 22. Wall JC, Turnbull GI. Gait asymmetries in residual hemiplegia. *Arch Phys Med Rehabil* 1986; 67: 550-3
 23. Hill KD, Goldie PA, Baker PA. Retest reliability of temporal and distance characteristics of hemiplegic gait using a footswitch system. *Arch Phys Med Rehabil* 1994; 75: 577-83
 24. Chen CL, Chen HC, Tang SFT, Wu CY, Cheng PT, Hong WH. Gait performance with compensatory adaptations in stroke patients with different degrees of motor recovery. *Am J Phys Med Rehabil* 2003; 82: 925-35
 25. Perry J. *Gait analysis-normal and pathological function*. 1st ed. Thorofare: Slack; 1992.
 26. Sadeghi H, Sedeghi S, Allard P, Labelle H, Duhaime M. Lower limb muscle power relationships in bilateral able-bodied gait. *Am J Phys Med Rehabil* 2001; 80: 821-30
 27. Winter DA. *The biomechanics and motor control of human gait: Normal, elderly and pathological*. 2nd ed. Waterloo: University of Waterloo press; 1991
 28. Olney SJ, Griffin MP, McBride ID. Temporal, kinematic and kinetic variables related to gait speed in subjects with hemiplegia: A regression approach. *Phys Ther* 1994; 74: 872-85
 29. Olney SJ, Richard C. Hemiparetic gait following stroke. Part I: characteristics. *Gait & Posture* 1996; 4: 136-48

Abstract

Gait pattern classification of hemiplegic patients focused on knee kinematic analysis

Soo Kyoung Cho

*Department of Medicine
The Graduate School, Yonsei University*

(Directed by Professor Deog Young Kim)

The aim of study was to classify gait patterns using kinematic data of knee in hemiplegic patients and investigate the difference of clinical, kinematic & kinetic data and energy consumption in each group.

169 hemiplegic gait and 24 control data were recruited. Non-hierarchical cluster analysis was used to classify the gait patterns based on the kinematic parameters of affected knee. Four clusters of patients was identified. The temporo-spatial, kinematic & kinetic parameters and energy consumption were analyzed between groups.

Four groups were mild flexed group, genu recurvatum group, stiff-knee group and extension thrust group. In stiff-knee group & extension thrust group, their knee flexion was more decreased than other groups, walking speed were significantly decreased and

asymmetry of gait & O_2 cost were significantly increased. Also, difference in clinical, kinematic and kinetic parameters during walking were identified between groups.

We classified gait patterns, that reflect relatively homogeneous level of function, using kinematic datum of knee in hemiplegic patients. This classification would provide a baseline reference of understanding of hemiplegic gait.

Key Words : gait analysis, hemiplegic gait, energy consumption