

# 파킨슨씨 병 환자와 정상인의 입각기시간과 상비율의 비교

김지원<sup>1</sup>, 엄광문<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>건국대학교 의공학부, <sup>2</sup>건국대학교 의공학실용기술 연구소  
(Received October 9, 2006. November 18, 2006)

## Comparison of the Total Stance Time And the Phase Ratio in Parkinson's Disease Patients And Normal Subjects

Ji-Won Kim<sup>1</sup>, Gwang-Moon Eom<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>School of Biomedical Engineering, Konkuk University,  
<sup>2</sup>Research Institute of Biomedical Engineering, Konkuk University

### Abstract

The purpose of this study is to investigate the gait characteristics in Parkinson's disease patients. Specifically, the total stance time and the ratio of each stance phase (heel strike, mid-stance, propulsion) are analyzed from the foot-pressure measurement system which requires low cost and small space compared to the conventional gait analysis system. The gait characteristics were analyzed in 23 Parkinson's disease patients (before and after L-dopa medication), 34 elderly (sixties) normal subjects and 21 young (twenties) normal subjects. Bradykinesia global score (self-developed score of slowness of body movement) of patients before medication was determined to see the relationship between the score and the gait characteristics. The total stance time was greater in the order of patients, elderly, youngs ( $p < 0.05$ ). The phase ratio of heel strike and propulsion was smaller and that of mid-stance was greater in the order of patients, elderly, youngs ( $p < 0.05$ ). However, there was no significant difference in the above gait characteristics of patients before and after medication. There was a tendency, though statistically non-significant, that the total stance time is longer and the propulsion phase ratio is shorter in patients with greater Bradykinesia global scale, and this tendency was relieved after medication.

**Key words :** foot pressure, parkinson's disease, total stance time, phase ratio

### 1. 서 론

파킨슨씨병 (Parkinson's disease)은 치매와 함께 대표적인 중추 신경계 퇴행성 질환의 일종으로 안정시 진전(tremor), 경직(rigidity) 그리고 운동 완서 (bradykinesia) 등의 증상을 보이는 것이 특징이다[1]. 특히 보행의 이상은 파킨슨씨병 환자들에게 나타나는 흔한 운동계 증상으로서 일상생활의 활동에 큰 어려움을 준다[2]. 보행의 증상을 평가하기 위한 여러 임상적 평가 방법이 있으나, 검사 방법이 복잡하고 객관적으로 평가하기에는 아직도 미흡한 상태이다[3].

최근에는 파킨슨씨병 환자들의 보행에 대한 객관적 평가를 위해 3차원 운동 분석 시스템이나 3차원 자세측정 장치와 같은 보행

분석기들을 이용하여 정량적인 분석을 시도하고 있다[4]. 그러나 이와 같은 대부분의 보행분석시스템은 많은 비용과 넓은 공간을 필요로 하여 임상에 적용하기 어려운 점이 있다.

Foot-scan system (RS scan international cooperation)은 정적(static), 동적(dynamic)의 족압(Foot pressure)을 측정하여 입각기시간(total stance time)이나 상비율(phase ratio)등과 같이 보행에 관련된 특성들을 분석 할 수 있도록 도와주는 장치로서 비용이 적게 들고 작은 공간을 차지하는 장점이 있다.

본 연구에서는 Foot-scan system을 이용하여 파킨슨환자와 정상인의 보행을 분석하였다. 연령에 따른 보행의 차이뿐만 아니라 질병에 의한 보행의 차이가 있을 것이라는 것을 가설로 피험자들에 대하여 동적인 족압을 측정 한 후 파킨슨환자와 20대 정상인, 60대 정상인의 입각기시간과 상비율을 각각 비교하였다. 그리고 파킨슨환자의 경우 도파민 투약 전과 투약후로 나누어 도파민 투약에 대한 반응효과가 보행분석의 정량적 표현과 연관성이 있는지 살펴보고, 실험 전, 본 연구에서 새롭게 개발한 임상적 운동 완서 증 측정 점수인 Bradykinesia global점수를 파킨슨씨병 환자에

본 연구는 보건복지부 보건과학기술진흥사업의 지원(02-PJ3-PG6-EV03-0004)에 의하여 연구 되었음.

Corresponding Author : 엄 광 문  
(우)380-701 건국대학교 의료생명대학 의공학학 재할공학연구소, 511호  
Tel : 043-852-9890 / Fax : 043-852-9890  
E-mail : gmeom@kku.ac.kr

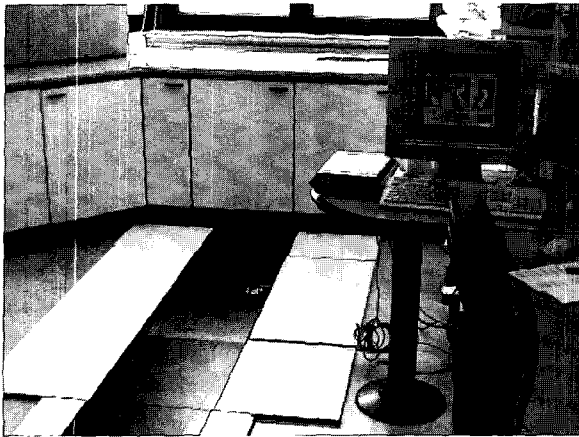


그림 1. 실험 장치  
Fig. 1. Experimental set-up

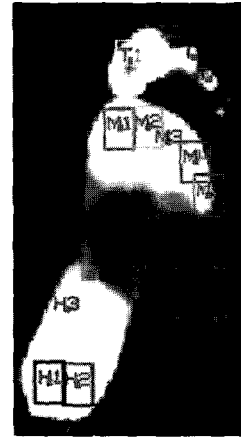


그림 2. 족압 분석 방법  
Fig. 2. Anatomic landmarks designation

대해 평가하여, 본 실험의 결과와 임상적인 평가방법의 연관성을 알아보았다.

## II. 방 법

### A. 실험 방법

2005년 4월부터 2006년 6월까지 고려대학교 안암병원에서 파킨슨 환자 23명(64±6세)을 대상으로 실험을 실시하였다. 환자들은 처음으로 파킨슨씨병을 진단받은 환자 중 운동 완서증을 보이면서 안정시 진전, 자세 불안정성 및 경직들의 증상을 하나 이상 가지고 있고 자가 보행이 가능한 Hoehn and Yahr stage I, II, III의 환자를 대상으로 선별하였다. 대조군은 동일연령대의 34인(65±7세)의 정상인과 20대의 21인(25±2세)의 정상인에 대하여 동일한 실험을 수행하였다.

본 실험에서 사용된 실험 장치는 그림 1과 같다. Foot-scan system은 1cm<sup>2</sup> 마다 4개의 센서가 있으며 98?33 cm의 active area 크기를 가진 판(plate)이다. 이 판을 동일한 두께의 일반 판(3m)의 중간에 삽입하여 피험자들이 실험 시 자연스러운 보행을 할 수 있도록 유도하였다.

모든 피험자들에 대해, 신발과 양말을 벗게 하고 발판 위를 오고 가게 하여 양측 발이 각각 발판 위에 정확히 찍힐 때 까지 반복 실험을 하였다. 이 때 항상 피험자들이 자연스러운 보행을 할 수 있도록 벽을 보게 건게 하였으며 발판의 접촉면에 익숙해지기 위해 실험 전 수차례 보행연습을 하였다.

실험 전에 파킨슨환자에 대해서는 bradykinesia global을 먼저 시행하여 질병의 정도에 따라 점수를 매기는 임상 평가를 하였고, 실험 후 도파민을 투약(500mg, L-dopa) 하고 30분~1시간 후에 한 번 더 동일한 실험을 하였다.

### B. 분석 방법

파킨슨환자와 20대 정상인, 60대 정상인의 보행을 측정하여 각

각의 피험군에 대하여 입각기시간과 상비율을 구하였다. 입각기 시간과 상비율을 구하기 위해 Foot-scan software version 6.42 sst 프로그램(RS scan international cooperation)을 사용하였다. Foot-scan system에서 얻어지는 데이터의 샘플링 주파수는 125Hz로 설정하였다.

분석 시에 필요한 발의 각 영역은, 그림 2와 같이 big toe (T1), metatarsal heads 5개 (M1~M5), heel region 2개 (H1, H2)를 설정하였다. 분석항목으로서, 우선 발의 입각기를 설정하였고, 다음으로 입각기에 대한 heel strike, mid-stance, propulsion의 시간비율(phase ratio)를 설정하였다. heel strike는 heel만이 접지되어 있는 시간, mid-stance는 heel과 metatarsal이 모두 접지되어 있는 시간, propulsion은 metatarsal과 Toe만이 접지하고 있는 시간 즉, 지면을 박차면서 앞으로 나가는 순간을 말한다.

이렇게 구해진 입각기시간과 상비율을 도표화 하여 연령에 따른 차이와 질병에 따른 차이를 분석하였다. 환자군의 경우, 도파민 투약 후 동일한 실험을 하여 약물 투약이 보행에 영향을 미치는지 살펴보고, 임상적 평가 결과와 객관적인 보행 특성의 연관성을 알아보기 위해 앞서 평가한 Bradykinesia global의 점수가 Foot-scan system을 이용한 입각기시간 및 상비율과 일정한 관계를 가지는지의 여부를 평가하였다.

임상적 증상의 평가로서는, UPDRS(Unified Parkinson's Disease Rating Scale)의 운동검사 부분인 Part III에서 완서증과 관련된 항목들을 종합하여 만든 일종의 평가 점수로서, 손가락 벌렸다 오므리기(finger tapping), 손 운동(rapid fisting), 빠른 손놀림(rapid alternating movement of hand), 다리의 민첩성(leg agility) 4개의 항목만으로 묶어 각 점수를 합산한 Bradykinesia global 이라는 새로운 평가 지표를 설계하여 임상 평가 방법으로 사용하였다. 각 항목은 정상에 해당하는 점수 0부터 거의 동작할 수 없는 증상의 점수 4까지 각 항목에 해당하는 질병정도를 각각 5개의 점수로 나누어서 환자들을 검사 하였고 각 항목의 점수들을 측정 한 후 그 점수들을 모두 합산하였다.

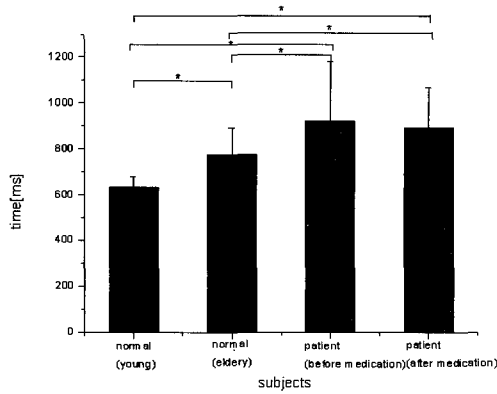


그림 3. 파킨슨환자와 정상인 대조군들의 입각기시간 (\*: p<0.05)  
 Fig. 3. Total stance time of young, old, patient(\*: p<0.05)

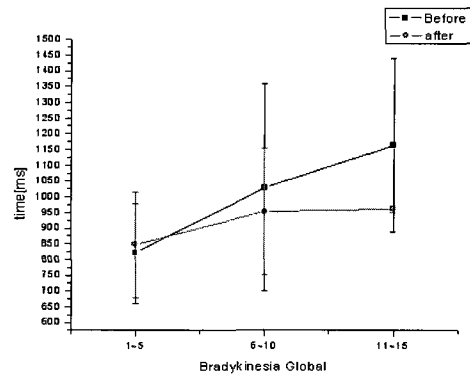


그림 4. bradykinesia global 점수에 따른 파킨슨 환자의 입각기시간  
 Fig. 4. Total stance time of patient with regard to bradykinesia global

### III. 결 과

#### A. Total Stance Time(총접지시간)

그림 3과 표 1은 파킨슨환자의 약물 투여 전후의 입각기시간과 20대 정상인, 60대 정상인의 입각기시간을 나타낸 것이다. 20대 정상인이 피험자군중 가장 낮았고, 파킨슨환자의 투약전의 경우 피험자군중 가장 높게 나왔다.

일원변량분석(one-Way ANOVA) 결과  $\alpha(\alpha)=0.05$  수준에서 20대 정상인, 60대 정상인 그리고 환자의 평균값은 각각 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 표 2는 각각의 데이터에 대한 사후 검증(post hoc tests) 결과이다.  $\alpha = 0.05$ 수준에서 20대 정상인 과 나머지 피험자군들 사이에 각각 유의하게 차이가 있었고, 60대 정상인과 나머지 피험자군들 사이에서도 각각 유의한 차이가 있었다.( $p < 0.05$ ) 투약 후의 경우 투약 전보다 입각기시간이 낮게 나왔으나 투약전의 결과와는 유의한 차이를 발견할 수 없었다. 피험자들의 입각기시간에 대한 분석 결과 20대 정상인, 60대 정상인, 투약전 환자 순으로 유의하게 길어지는 것이 확인 되었다.

그림 4는 환자군에 대해 bradykinesia global 임상 평가 점수에

따른 입각기시간의 변화량을 투약전후로 나타낸 것이다. 투약 전의 경우 질병의 정도가 높을수록 입각기시간이 길어지는 경향은 보였으나 각 질병단계 사이에서 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 투약 후의 경우 투약 전에 비해 상대적으로 입각기시간이 줄어드는 경향은 보였으나 투약전과 비교하여 통계적으로 유의한 차이는 발견할 수 없었다.

#### B. Phase Ratio(상비율)

그림 5와 표 3은 파킨슨환자의 상비율과 20대 정상인, 60대 정상인의 상비율을 각각 비교한 것이다. 20대 정상인, 60대 정상인, 투약전의 환자의 순으로 유의하게 heel strike, propulsion은 짧아지고, mid-stance는 길어지는 것이 확인 되었다.

일원변량분석 결과  $\alpha(\alpha) = 0.05$  수준에서 20대 정상인, 60대 정상인, 환자들 사이에 heel strike, mid-stance, propulsion의 평균값은 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 표 4는 각각의 데이터에 대한 사후 검증 결과를 나타낸 것이다.  $\alpha=0.05$  수준에서 heel strike, mid-stance의 경우 20대 정상인, 60대 정상인, 투약 전후의 환자사이에 대부분 유의한 차이가 있었다. propulsion의 경우 20

표 1. 파킨슨환자와 정상인의 입각기시간

Table 1. Total stance time of young, old, parkinson's disease patient

	normal (young)	normal (old)	patient (before medication)	patient (after medication)
입각기시간[ms]	635 ± 46	774 ± 119	923 ± 257	893 ± 175

표 2. 입각기시간에서의 사후검증 결과 (\*: p<0.05)

Table 2. Post hoc test result of total stance time (\*: p<0.05)

	normal (young)	normal (old)	patient (before medication)	patient (after medication)
20대 정상인		*	*	*
60대 정상인	*		*	*
투약 전 환자	*	*		
투약 후 환자	*	*		

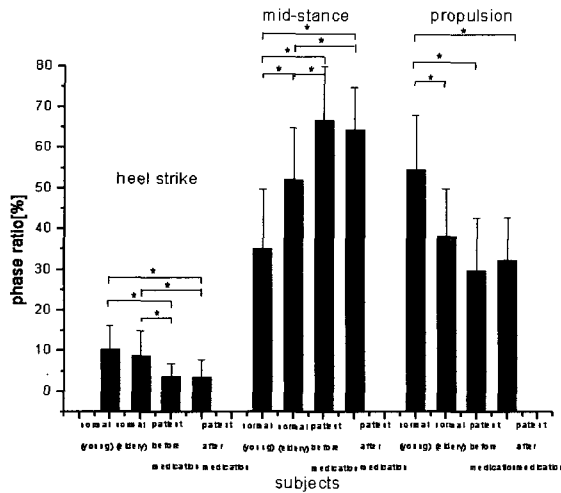


그림 5. 파킨슨환자와 정상인 대조군들의 상비율 (\*: p<0.05)  
Fig. 5. Phase ratios of young, old, patient(\*: p<0.05)

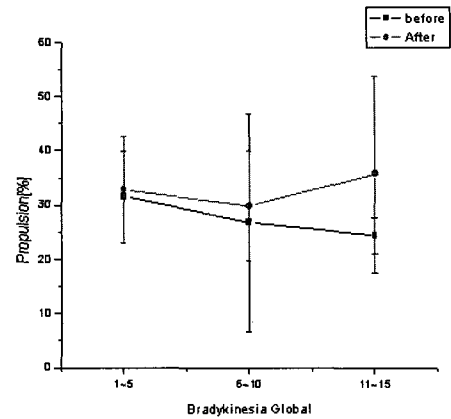


그림 6. bradykinesia global 점수에 따른 파킨슨 환자의 추진기 상비율  
Fig. 6 propulsion phase ratio of patient with regard to bradykinesia global

대 정상인과 비교하여 60대 정상인, 투약전의 환자만이 유의한 차이가 있었다. 투약 후의 경우 투약 전에 비해 mid-stance는 감소하고 propulsion은 증가하였으나 투약 전과는 유의한 차이가 없었다.

그림 6은 환자군에 대해 bradykinesia global 임상 평가 점수에 따른 propulsion의 변화량을 투약전후로 나타낸 것이다. 투약 전

의 경우 질병의 정도가 높을수록 propulsion의 비율이 짧아지는 성향은 보였으나 각 질병단계의 사이에는 유의한 차이는 없었다. 투약 후의 경우 투약 전에 비해 propulsion이 전체적으로 증가하였으나 투약전과 비교하여 유의한 차이는 없었다.

표 3. 파킨슨환자와 정상인 대조군의 상비율 (\*: p<0.05)  
Table 3. Phase ratios of young, old, patient (\*: p<0.05)

	20대 정상인	60대 정상인	약물 투여 전 환자	약물 투여 후 환자
heel strike[%]	10 ± 6	9 ± 7	4 ± 3	3 ± 4
mid-stance[%]	35 ± 15	52 ± 13	67 ± 13	64 ± 11
propulsion[%]	54 ± 14	38 ± 12	30 ± 13	32 ± 10

표 4. 상비율에서 사후검증 결과  
Table 4. Post hoc test result of heel strikes

	20대 정상인	60대 정상인	투약 전 환자	약 후 환자
heel strike				
20대 정상인			*	*
60대 정상인			*	*
투약 전 환자	*	*		
투약 후 환자	*	*		
mid-stance				
20대 정상인		*	*	*
60대 정상인	*		*	*
투약 전 환자	*	*		
투약 후 환자	*	*		
propulsion				
20대 정상인		*	*	*
60대 정상인	*		*	*
투약 전 환자	*	*		
투약 후 환자	*	*		

## IV. 고찰

### A. Total Stance Time(입각기시간)

그림 3에서, 입각기시간은 정상인 20대, 정상인 60대, 투약전의 환자의 순으로 유의하게 길어지는 것이 확인 되었다. 이것은 연령에 따라 동작이 느려지는 것 이외에도 환자군에서 추가적인 완서증이 존재한다는 것으로서 임상적인 견해와도 일치한다. 파킨슨병 환자의 보행은 보행 속도가 느리고 보폭이 좁으며 보행중에 속도가 갑자기 변하는 양상을 보인다[5]. 2차원이나 3차원 보행분석 결과 활보장(stride length)이나 보행속도가 감소되는 양상을 보였던 것도 본 연구의 결과와 일치한다 할 수 있다[6-8].

그림 3에서, 약물을 투약 후 실험 한 파킨슨씨병 환자의 결과를 보면 입각기 시간이 투약 전에 비해 줄어드는 것을 볼 수 있었으나 투약전후간의 유의차는 보이지 않았다. 이것은 약물 투여에 대한 반응이 파킨슨씨병 환자의 보행에 영향을 미치지 않았을 가능성이 있다. 과거의 문헌에서도 레보도파(L-dopa)에 의한 반응은 주로 전형적인 운동 증상(진전, 근육 경직, 완서증)을 호전시키나,[10] 자세 불안정, 보행 장애, 낙상 등은 거의 호전되지 않음을 밝히고 있다[11-12].

그림 4에서, 투약 전의 경우 질병의 정도가 심한 환자일수록 입각기시간이 길어지는 경향은 보였으나 각 질병의 단계사이에 유의차는 없었다. 이것은 현재의 실험 장치가 환자의 일관적인 보행을 유도하기에 적합하지 않았을 가능성과 일상적인 보행에서도 환자의 보행자체가 어떤 일관성을 가지지 않을 가능성을 들 수 있다. 그리고 임상적 평가와 Hoehn & Yhar 질병단계가 파킨슨씨병의 보행을 제대로 반영하지 못하는 측면이 있을 수도 있다[9]. 투약 후 입각기 시간이 각 질병 단계마다 상대적으로 줄어드는 경향도 보였으나 각 질병 단계의 투약 전후 사이에는 유의한 차이가 없었다.

### B. Phase Ratio(상비율)

그림 5에서, 상비율은 정상인 20대, 정상인 60대, 투약전의 환자의 순으로, 유의하게 heel strike, propulsion은 짧아지고, mid-stance는 길어지는 것이 확인 되었다. 이것은 연령에 따른 동작의 느려짐과 더불어 자세균형능력의 저하로 인해, dynamic phase인 heel strike와 propulsion이 짧아지는 것을 나타낸다. 파킨슨환자의 경우 몸의 무게 중심 이동이 자연스럽게 일어나지 않아 다음 step을 위해 앞으로 나가는 힘을 받게 되는 propulsion의 시간적 구성비가 감소하고 결과적으로 보폭이 작아지고 보행속도가 느려지며 다음 단계의 입각기의 시작이 자연스럽게 이어지지 않아 잘 넘어지고 보행이 불안한 증상이 일어 날 수 있다. 또한, 파킨슨 환자의 보행 주기 중 heel strike와 propulsion이 통계적으로 의미 있게 짧아지거나 그러한 경향을 보이고 있다는 보고가 있다 [13-16].

환자군의 경우 mid-stance가 유의하게 긴 것을 볼 수가 있는데 이것은 자세균형 능력의 저하가 심하다는 임상적인 견해와도 일

치한다[17]. mid-stance를 통해서 한 번의 보행에 대해 균형을 유지할 수 있는데 환자군은 잘 넘어지고 보행이 불안하여 상대적으로 mid-stance에 의존을 많이 한다고 볼 수 있다.

그림 5에서, 약물 투약 후 propulsion이 길어지고, mid-stance는 짧아지는 경향을 볼 수 있었으나 투약 전과 비교하여 통계적으로 유의한 차이는 볼 수 없었다. 이러한 이유도 입각기시간에서 고찰하였던 것과 같이 약물 투여가 보행에는 직접적인 영향을 미치지 않는 것을 가능성이다.

그림 6에서, 투약 전의 경우 질병의 정도가 심한 환자일수록 propulsion이 짧아지는 경향을 보였으나 각 질병의 단계 사이에는 유의한 차이는 보이지 않았다. 이러한 결과의 이유도 앞서 입각기시간에서 고찰하였던 것과 같이 현재의 실험 장치로 임상평가와 관련하여 보행 분석을 정량화시키기 어렵거나 환자의 보행자체를 정량화시키기 어려울 가능성, 혹은 임상적 평가가 환자의 보행을 정량화시키기 어렵다는 것이다.

투약 후에 전체적으로 propulsion이 길어지는 경향을 보였으나 이것도 투약 후와 비교하여 유의차는 없었다.

## V. 결론

본 연구에서는, 파킨슨 환자의 보행분석을 위한 임상적인 효용성이 높은 간편한 방법으로서 foot-scan system을 제안하고, 파킨슨 환자와 20대 정상인, 60대 정상인의 보행패턴을 입각기시간과 상비율의 관점에서 비교분석하였다. 실험 결과, 20대 정상인, 60대 정상인 및 파킨슨환자의 입각기시간과 상비율은 통계적으로 유의미한 차이를 보였다. 즉, 20대 정상인, 60대 정상인 및 파킨슨 환자의 순으로 입각기시간이 길어졌으며, 보행중의 다이내믹한 상(heel-strike와 propulsion)의 비율이 정적인 상(mid-stance)의 비율에 비해 줄어들었다. 이로부터, 보행의 입각기특성(입각기시간 및 상비율)이 환자 및 정상인의 보행을 구분할 수 있는 유용한 특성임을 알 수 있다.

그러나, 파킨슨 환자의 투약전후의 실험결과에는 입각기특성의 유의미한 차이가 없었고, 임상적 증상의 스케일인 bradykinesia global과 입각기시간 및 상비율간에는 유의미한 관계를 발견할 수 없었다. 이는, 파킨슨 환자의 임상적 증상이 보행패턴과 직접적인 연관이 약하다는 것을 암시하며, 이는 L-dopa 약물투여가 보행을 호전시키지는 않는다는 연구결과[11-12]와도 일치한다. 따라서, 파킨슨 환자의 임상적 증상의 객관적 평가를 위해서는, 보행패턴 분석은 물론 전형적인 운동 증상(경직, 완서증)을 평가할 수 있는 새로운 실험 방안이 필요 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] W.C. Koller, S. Glatt, B. Vetere-Overfield, R. Hassanein, "Falls and Parkinson's disease," *Clin. Neuropharmacol.*, vol. 12, pp.98-105, 1989.
- [2] R.A. Roos, J.C. Jongen, E.A. van der Velde, "Clinical course of

- patients with idiopathic Parkinson's disease," *Mov Disord*, vol. 11, pp.236-242, 1996.
- [3] K. Stefan, M.H. Ewald, "Heel to toe motion characteristics in Parkinson patients during free walking," *Clinical Biomechanics*, vol.16, pp.806-812, 2001.
- [4] C.J. Hass, D.E. Waddell, R.P. Fleming, J.L. Juncos, R.J. Gregor, "Gait initiation and dynamic balance control in Parkinson's disease," *Arch Phys Med Rehabil*, vol.86, pp.2172-2176, 2005.5.
- M. Victor, A.H. Ropper, *Adams and Victor's Principles of Neurology*, 7th ed, McGraw Hill, pp.1128-1137, 2001.
- [6] Morris M, lansek, R, Matyas T, Summers J, "Abnormalities in the stride length -cadence relation in parkinsonian gait," *Mov Disord*, vol.13, pp.61-69, 1998.
- [7] O. Blin, A.M. Ferranden, G. Serratrice, "Quantitative analysis of gait in Parkinson patients: increased variability of stride length," *J. Neurol. Sci.*, vol.98, pp.91-97, 1990.
- [8] S.W. Pedersen, B. Oberg, L.E. Larsson, B. Lindval, "Gait analysis, isokinetic muscle strength measurement in patients with Parkinson's disease," *Scand. J. Rehabil. Med.*, vol.29, pp.67-64, 1997.
- [9] M. Vokaer, N.A. Azar, D.Z. de Beyl, "Effects of levodopa on upper limb mobility and gait in Parkinson's disease," *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry.*, vol.74, pp.1304-1307, 2003.
- [10] A.J. Hughes, S.E. Daniel, A.J. Lees, "Improved accuracy of clinical diagnosis of Lewy body Parkinson's disease," *Neurology*, vol.57, pp.1497-1499, 2001.
- [11] N. Giladi, "Gait disturbances in advanced stages of Parkinson's disease," *Adv Neurol*, vol.86, pp.273-278, 2001.
- [12] G. Kemoun, L. Defebvre, "Gait disorders in Parkinson disease. Gait freezing and falls: therapeutic management," *Presse Med*, vol.30, pp.460-468, 2001.
- [13] S. Lubik, W. Fogel, V. Tronnier, M. Krause, J. Konig, W.H. Jost, "Gait analysis in patients with advanced Parkinson disease: different or additive effects on gait induced by levodopa and chronic STN stimulation," *J Neural Transm*, vol.113, pp.163-173, 2006.
- [14] N. Allert, J. Volkmann, S. Dotse, H. Hefter, V. Sturm, H.J. Freund, "Effects of bilateral pallidal or subthalamic stimulation on gait in advanced Parkinson's disease," *Mov. Disord.*, vol.16, pp.1076-1085, 2001.
- [15] M.P. Murray, S.B. Sepic, G.M. Gardner, W.J. Downs, "Walking patterns of men with parkinsonism," *Am. J. Phys. Med.*, vol.57, pp.278-294, 1978.
- [16] G.M. Stern, S.E. Franklyn, F.J. Imms, S.P. Prestidge, "Quantitative assessments of gait and mobility in Parkinson's disease," *J. Neural. Transm. Suppl.*, vol.19, pp.201-214, 1983.
- [17] C.D. Marsden, "The mysterious motor function of the basal ganglia," *Neurology*, vol.32, pp.514-539, 1982.