

# 자이로센서를 이용한 특발성 파킨슨병 환자와 정상인의 손가락 벌렸다 오므리기 동작의 측정과 비교

김지원<sup>1</sup>, 권유리<sup>1</sup>, 이재호<sup>1</sup>, 엄광문<sup>1,2</sup>, 권도영<sup>3</sup>, 고성범<sup>3</sup>, 박병규<sup>3</sup>, 홍정화<sup>3</sup>

<sup>1</sup>건국대학교 의공학부, <sup>2</sup>건국대학교 의공학실용기술 연구소, <sup>3</sup>고려대학교

## Measurement and Comparison of Finger Tapping Movement in Patients with Idiopathic Parkinson's Disease and Normal Subjects using Gyrosensor

Ji-Won Kim<sup>1</sup>, Yu-Ri Kwon<sup>1</sup>, Jae-Ho Lee<sup>1</sup>, Gwang-Moon Eom<sup>1,2</sup>, Do-Young Kwon<sup>3</sup>,  
Seong-Beom Koh<sup>3</sup>, Byung Kyu Park<sup>3</sup>, Junghwa Hong<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>Research Institute of Biomedical Engineering, <sup>3</sup>Konkuk University

(Received December 10, 2009. Accepted May 12, 2010)

### Abstract

The purpose of this study is to compare finger tapping (FT) movement of patients with Parkinson's disease (PD) with normal subjects. A gyrosensor system was used for the measurement of FT movement, because it provides angular velocity free from the gravitational artifact and it can be used during clinical FT test listed in unified PD rating scale (UPDRS). Forty PD patients (age:  $65.7 \pm 11.1$  yrs, H&Y stage:  $2.3 \pm 0.5$ ), 14 age-matched elderly subjects ( $65 \pm 3.9$  yrs) and 17 healthy young subjects ( $24 \pm 2.1$  yrs) participated in this study. Angular velocity of finger tapping movement was measured in both right and left index finger. As quantitative measures, root-mean-squared (RMS) angular velocity, RMS angle, peak power and total power were used. ANOVA showed that all measures were significantly different among three groups ( $p < 0.001$ ) in all quantitative measures. Post-hoc test revealed that all quantitative measures except peak power in patients with PD were significantly smaller than in both healthy elderly and young subjects ( $p < 0.01$ ). This suggests that the measures developed in this study can distinguish patients with PD from normal subjects.

Key words : Parkinson's disease, UPDRS, gyro sensor, angular velocity, quantification, finger-tapping

## 1. 서론

파킨슨병 (Parkinson's disease)의 대표적 임상 증상(symptom)으로서, 안정시 진전 (resting tremor), 경축 (rigidity), 완서증 (bradykinesia), 자세불안정 (postural instability) 등이 있다. 완서증은 환자의 몸, 사지 등의 움직임이 느려지는 증상으로서, 임상 평가를 위해 통일 파킨슨병 등급척도 (unified Parkinson's Disease rating scale: UPDRS)의 운동기능검사(motor examination) 항목 중 엄지 (thumb)과 검지(Index finger)를 마주치는 동작인 손가락 벌렸다 오므리기 검사 (Finger-Tapping test: FT test)가

많이 시행되고 있다[1,2]. 하지만, UPDRS는 임상 의사 경험에 의존하고 점수를 판정하는 기준이 주관적이며[3,4], 초기 환자들의 경우 세밀한 변화는 감별하기 어렵다는 단점이 있다[5]. 최근에는 MDS (Movement disorder society)-UPDRS 라는 수정된 임상 척도가 제안되었지만 여전히 임상 의사 경험과 주관적인 판단이 문제가 되고 있다[6]. 따라서, 파킨슨환자의 효율적인 약물 치료와 수술을 위해서 FT 검사의 객관적이고 정량적인 임상 진단 방법이 요구되고 있다.

FT 검사의 정량적인 평가를 위해 많은 연구들이 시도되었다 [7-9]. 하지만, 대부분의 연구들은 시스템의 부피가 커서 공간을 많이 차지하고 비용이 많이 들며, 임상 의사 조작이 쉽지 않아 현재 까지 임상에 적용되지 못하고 있다. 또한, 기존의 임상검사와 다른 별도의 검사동작과 셋팅을 필요로 하는 제한점이 있다.

Corresponding Author : 엄광문

충북 충주시 단월동 건국대학교 의료생명대학 516호

Tel : +82-43-852-9890 / Fax : +82-43-852-9890

E-mail : gmeom@kku.ac.kr

이 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 (2007-0055291, 2009-0087031)의 지원을 받아 수행된 연구임

본 연구팀은 자이로센서를 이용하여 기존의 임상 검사와 동시에 간편하게 환자의 각운동을 측정 할 수 있는 각속도 측정시스템을 개발하였다[10]. 이 연구에서는 UPDRS 운동기능검사 항목 중 빠른 손놀림 (rapid alternating movements of hands) 검사에 대한 객관적 측정을 통해 파킨슨환자를 위한 임상 검사 정량화의 가능성을 볼 수 있었다. 본 시스템이 빠른 손놀림항목 이외에도 FT 검사를 정량적으로 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 파킨슨환자와 정상인들을 대상으로 FT 검사를 실시하였고 기존의 시간영역의 분석 지표 뿐 아니라 주파수영역의 새로운 분석 지표들을 산출하여 환자와 정상인의 차이를 비교 분석하는 것을 목적으로 한다.

## II. 방법

### A. 피험자

고려대학교 안암병원과 구로병원에서 Hoehn and Yahr (H&Y) stage 1~3인 특발성 (idiopathic) 파킨슨병 환자 40명을 대상으로 실험을 실시하였다 (표1). 뇌진탕 (head trauma), 뇌졸중 (stroke) 와 같은 다른 질환의 병력이 있는 환자, 뇌의 MRI 소견상 구조적인 장애나 수두증 (hydrocephalus)이 있는 환자 등 배제 기준 (exclusion criteria)에 해당되는 환자는 실험에서 배제하였다. 정상인으로서, 근골격 및 신경계 질환이 없는 31명 (젊은 성인 17명, 고령자 대조군 14명)의 정상인이 본 연구에 참여하였다 (표1). 모든 피험자는 실험에 사전 동의하였으며, 본 연구는 임상윤리위원회의 승인을 받았다.

### B. 측정 및 분석 방법

FT 검사 동안 움직임의 각속도 측정을 위해 소형 자이로센서 (6×10×25 mm, 0.66 mv/deg/sec, CG-L53, NEC/TOKIN, Japan; 0.26 g)가 사용되었다. 센서의 신호를 처리하기 위해 기본적인 필터 및 증폭회로, 마이크로프로세서가 사용되었고, 모니터링 및 데이터 저장을 위해 랩뷰 (LabView 8.0, National instruments)가 사용되었다. 분석지표 산출을 위해 매트랩 (MATLAB 6.5,

표 1. 피험자 특성

Table 1. Subject characteristics

Subject	number	age	H&Y stage
Young	17	24 ± 2.1 (22 - 28)	
Elderly	14	65 ± 3.9 (60 - 73)	
Pateint	40	65.7 ± 11.1 (34 - 80)	2.3 ± 0.5 (1 - 3)

Mathworks)이 이용되었다[10].

센서는 그림 1과 같이 환자와 임상가의 임상 편의성을 위해 손가락에 쉽게 탈부착이 가능한 밴드에 삽입하였다. FT 검사의 동작에서 검지는 각속도를 측정할 수 있는 기준 축 (reference axis) 선정이 용이하고 동작 중 센서 신호의 크기가 엄지보다 상대적으로 커 센서 부착위치가 가장 적당하였다. 따라서, 센서의 삽입위치는 밴드 부착시 검지 말절골 (distal phalanx)에 오도록 하였고, 센서의 기준축은 굴곡/신전 (flexion/extension) 운동의 축과 일치하도록 밴드 내에서 고정하였다.

피험자는 시작 신호와 함께 가능한 빠르고 크게 엄지와 검지를 마주치는 동작을 반복 시행하였다. 피험자는 측정방법에 대해 충분히 숙지한 상태에서 약 5초간 연습 후 10초 동안 오른쪽과 왼쪽 각각을 측정하였다. 데이터는 시작과 함께 10초 동안 저장된 후 자동 종료가 되도록 하였다.

측정된 데이터는 자이로센서 신호의 드리프트 (drift)를 제거하기 위해 1Hz의 차단주파수를 가진 4차 버터워스(Butterworth) 고역통과디지털필터와 전원 잡음 제거를 위해 50Hz의 차단주파수를 가진 4차 버터워스 저역통과 디지털필터를 이용하여 신호처리를 하였다.

분석 지표로서 시간 영역 분석과 주파수 영역 분석을 사용하였다. 시간영역의 지표로서, 각속도를 제곱평균한 후 루트를 취하여 (root mean squared: RMS) RMS 각속도를 산출하였고, 또한, 각

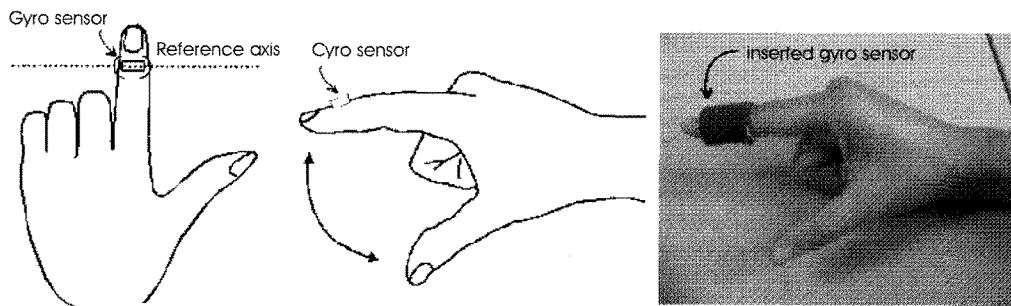


그림 1. FT 검사를 위한 자이로센서의 부착  
Fig. 1. Attachment of gyro sensor for FT test

속도신호의 수치적분 (Simpson 3/8 방법)을 통해 얻은 각도의 RMS 각도를 산출하였다. 주파수 영역의 지표로서, 각속도 신호의 파워스펙트럼에서 최대파워 (peak power)와 파워스펙트럼의 전체 면적인 전체파워 (total power)를 산출하였다.

통계 분석으로서, 각 분석지표의 피험자그룹간의 차이를 변량 분석 (Analysis of variance: ANOVA)을 이용하여 분석하였고, 사후검증 (post hoc test)으로서 Tukey 검증을 실시하였다. 반복 비교 (multiple comparison)를 고려하여 통계적 유의도는 0.01로 설정하였다.

### III. 결과 및 고찰

그림 2 는 젊은 성인, 고령자 그리고 파킨슨환자의 대표적인 시

간 영역의 각속도 신호와 주파수 영역의 파워스펙트럼 그래프를 나타내고 있다. 센서 신호의 크기와 그 power의 크기는 젊은 성인, 고령자 그리고 환자 순으로 작아지는 것을 볼 수 있었다.

그림 3은 산출된 시간영역의 분석지표와 주파수영역의 분석지표를 젊은 성인, 고령자 그리고 환자에 대해 비교한 박스차트 (box chart)를 나타내고 있다. 박스차트는 각각의 피험자그룹에 대하여 1, 5, 25,50,75,95, 99% 의 다양한 백분위를 표기하고 있어 데이터의 분포 및 양상을 자세히 설명해 줄 수 있는 장점이 있다. 또한 최대값 및 최소값 그리고 평균값도 나타낼 수 있다.

RMS 각속도 경우 평균값이 젊은 성인은 651 deg/s, 고령자는 495 deg/s 그리고 환자는 328 deg/s이었고, RMS 각도의 경우 젊은 성인은 22.3 deg, 고령자는 22.0 deg 그리고 환자는 15.8 deg였다. 또한, 최대파워의 경우 평균값이 젊은 성인은  $1.2 \times 10^8$

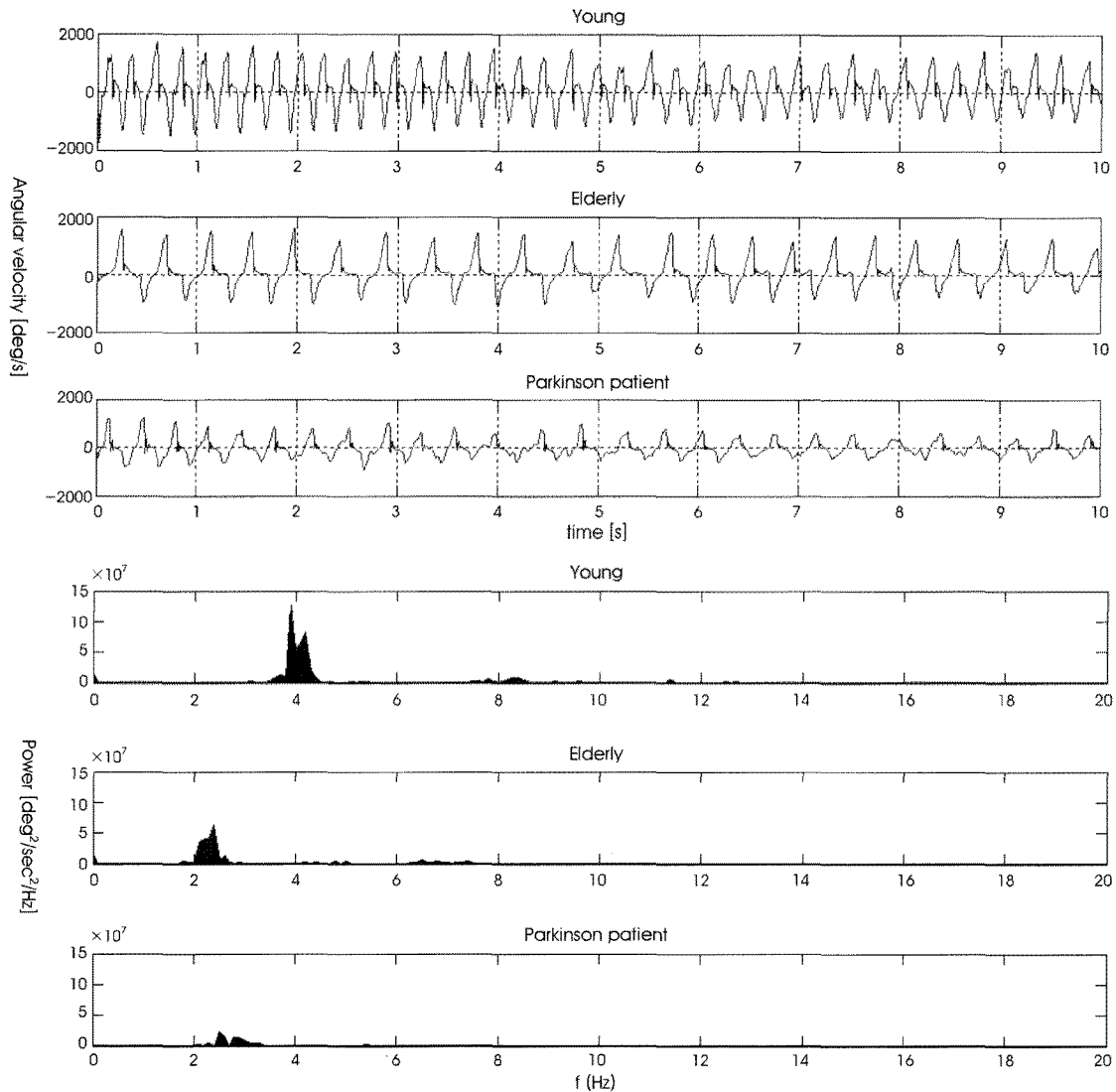


그림 2. 정상인과 환자의 대표적인 각속도신호 (a)와 파워스펙트럼 (b)  
Fig. 2 Representative angular velocity signals (a) and power spectrum (b) of normal and patient

$\text{deg}^2/\text{s}^2/\text{Hz}$ , 고령자는  $6.8 \times 10^7 \text{ deg}^2/\text{s}^2/\text{Hz}$  그리고 환자는  $4.3 \times 10^7 \text{ deg}^2/\text{s}^2/\text{Hz}$  였고, 전체파워의 경우 젊은 성인은  $2.1 \times 10^5 \text{ deg}^2/\text{s}^2/\text{Hz}$ , 고령자는  $1.2 \times 10^5 \text{ deg}^2/\text{s}^2/\text{Hz}$  그리고 환자는  $4.9 \times 10^4 \text{ deg}^2/\text{s}^2/\text{Hz}$  였다.

변량분석결과 모든 분석지표들은 그룹 사이에 유의한 차이를 보였다 ( $p < 0.001$ ). 사후검증 결과, 최대파워를 제외한 모든 분석지표는 환자군에서 고령자대조군 및 젊은 성인보다 작았다 ( $p < 0.001$ ). 이것은 본 시스템을 이용하여 산출된 분석지표들이 대조군에 비해 움직임이 느린 파킨슨환자의 임상적 특징을 표현할 수 있음을 의미한다. 환자의 RMS각속도와 RMS각도가 매우 작은 것은 환자의 평균적인 움직임 속도가 동일 연령의 고령자에 비해 현저히 느리고 평균적 움직임 각도범위 또한 매우 작은 것을 의미한다. 또한, 환자의 최대파워가 매우 작았던 것은 전체 주파수 영역의 파워값의 총합이 고령자에 비해 현저히 낮다는 것을 의미한다. 따라서, 본 연구의 유용 지표들을 레이더 도표 (radar chart) 와 같은 디스플레이 방식으로 임상외에 객관적인 자료를 제공한다면 다양한 관점에서 환자를 진단하는 것이 가능할 것으로 사료된다.

RMS각속도, 최대파워 그리고 전체파워는 젊은 성인에 비해 고령자대조군에서 유의하게 작았으므로 ( $p < 0.01$ ), 연령에 따른 동작능력의 저하도 표현할 수 있음을 알 수 있었다.

가속도계를 사용한 FT 검사의 경우 중력의 영향을 배제하기 위해 측정시 환자의 움직임을 수평방향으로만 움직일 수 있는 구속 조건을 주고 수직방향으로 운동을 하는 그 밖의 임상검사에는 적용하기 어렵다는 제한점이 있었다[2]. 공간을 많이 차지하고 [7,8], 고가의 장비이거나 임상외의 조작이 쉽지 않은[9] 시스템들은 현재로서 거의 임상에 적용되지 못하고 있다. 또한, 임상검사에서 사용되지 않는 별도의 동작을 필요로 하여, 고령의 인지기능이 떨어지는 환자들을 상대로 사용하기에는 측정의 객관성이 부족하며, 임상외가 새로운 동작에 대한 이해를 해야 한다는 제한점이 있어서 임상에서 사용되지 못하였다[7-9].

자이로센서는 크기가 작고 무게가 매우 가벼울 뿐 아니라 중력의 영향을 받지 않고 쓸 수 있어 임상 적용에 용이하다. 자이로센서를 이용한 본 시스템은 별도의 검사 동작 및 실험세팅이 필요 없이 기존 FT 검사와 동시에 측정이 가능하고, 소요비용이 적고 시스템

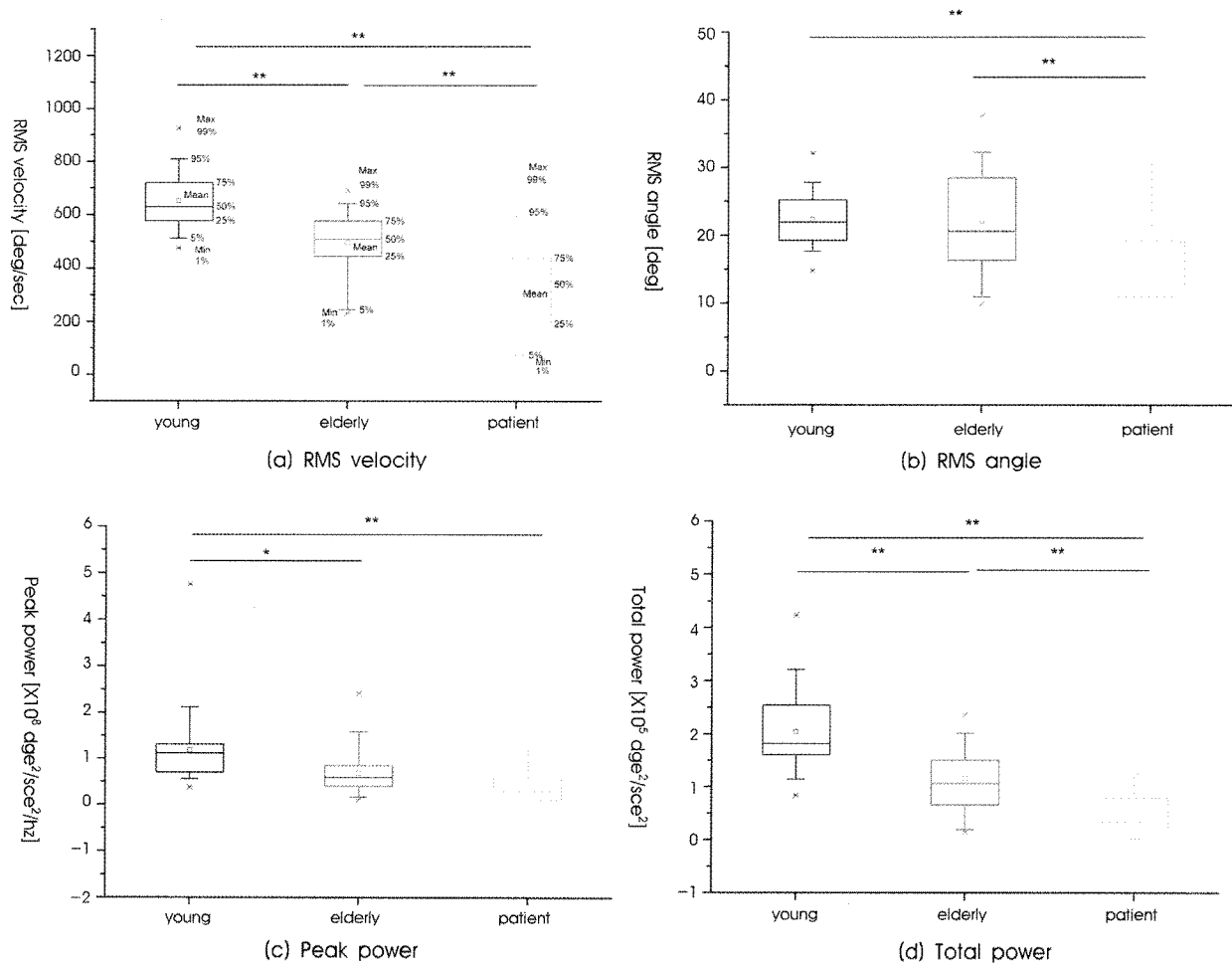


그림 3. 정상인과 환자의 분석지표((a) RMS 각속도 (b) RMS 각도 (c) 최대 power (d) 전체 power) 의 비교

Fig. 3 Comparison of analysis paramters ((a) RMS velocity (b) RMS angle (c) Peak power (d) Total power) in normal and patient (\*:p<0.01, \*\*:p<0.001)

의 본체가 작고 가볍기 때문에 (14×15×5 cm, 0.4kg) 임상적 이용 가능성이 높을 것으로 기대된다. 또한, 간단한 측정만으로 시간영역의 분석지표와 주파수 영역의 분석지표 등 다양한 정보를 산출할 수 있고 앞으로도 환자의 다양한 임상적 특징에 맞는 추가 분석 지표들의 개발도 가능할 것이다.

본 연구에서는 FT 검사의 객관적 분석지표가 환자와 고령자대조군 및 젊은성인 간에 현저한 차이가 있음을 밝힘으로써, 환자와 정상인의 정량적인 구별이 가능함을 보였다. 이 점에서 의의가 크다. 보다 많은 환자들의 임상 데이터와 정량적으로 산출된 분석지표들을 이용하여 인공지능망(neural network) 과 같은 진단시스템을 구현한다면, 파킨슨환자의 임상 진단에 보다 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 자이로센서를 기반으로 한 각속도 측정시스템을 개발하여 파킨슨병 환자를 대상으로 시행하는 UPDRS 운동기능 검사 항목 중 FT 검사에 대해서 정상인과 환자들을 객관적인 지표로 비교분석하였다. RMS각속도와 전체파워는 환자와 고령자대조군 및 젊은 성인 모든 그룹간의 유의한 차이를 보였다. 이로부터, 본 연구의 시스템은 파킨슨환자의 운동 완서증을 정량적으로 평가할 수 있을 것으로 제안된다.

#### 참고문헌

[1] A. Kandori, M. Yokoe, S. Sakoda, K. Abe, T. Miyashita, H. Oe, H. Naritomi, K. Ogata, and K. Tsukada, "Quantitative magnetic detection of finger movements in patients with Parkinson's disease," *Neurosci Res*, vol. 49, no.2, pp.253-260, 2004.

[2] M. Yokoe, R. Okuno, T. Hamasaki, Y. Kurachi, K. Akazawa, and S. Sakoda, "Opening velocity, a novel parameter, for finger tapping test in patients with Parkinson's disease," *Parkinsonism*

*Relat Disord*, vol. 15, no.6, pp.440-444, 2009.

[3] S. Fahn, C.D. Marsden, D.B. Calne, M. Goldstein, "Recent developments in Parkinson's disease," Vol. II. *MacMillan Healthcare Information*, NJ: 153-163, 1987

[4] A. Machado, A.R. Rezai, B.H. Kopell, R.E. Gross, A.D. Sharan, and A.L. Benabid, "Deep brain stimulation for Parkinson's disease: surgical technique and perioperative management," *Mov Disord*, vol. 21 Suppl 14, pp.S247-258, 2006.

[5] M.M. Koop, N. Shivitz, and H. Bronte-Stewart, "Quantitative measures of fine motor, limb, and postural bradykinesia in very early stage, untreated Parkinson's disease," *Mov Disord*, vol. 23, no.9, pp.1262-1268, 2008.

[6] C.G. Goetz, B.C. Tilley, S.R. Shaftman, G.T. Stebbins, S. Fahn, P. Martinez-Martin, W. Poewe, C. Sampaio, M.B. Stern, R. Dodel, B. Dubois, R. Holloway, J. Jankovic, J. Kulisevsky, A.E. Lang, A. Lees, S. Leurgans, P.A. LeWitt, D. Nyenhuis, C.W. Olanow, O. Rascol, A. Schrag, J.A. Teresi, J.J. van Hilten, and N. LaPelle, "Movement Disorder Society-sponsored revision of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS): scale presentation and clinimetric testing results," *Mov Disord*, vol. 23, no.15, pp.2129-2170, 2008.

[7] A. L. Taylor Tavares, G. S. Jefferis, M. Koop, B. C. Hill, T. Hastie, G. Heit and H. M. Bronte-Stewart, "Quantitative measurements of alternating finger tapping in Parkinson's disease correlate with UPDRS motor disability and reveal the improvement in fine motor control from medication and deep brain stimulation," *Mov Disord*, vol.20, no.10, pp. 1286-1298, 2005.

[8] A. Jobbagy, P. Harcos, R. Karoly and G. Fazekas, "Analysis of finger-tapping movement," *J Neurosci Methods*, vol.141, no.1, pp. 29-39, 2005.

[9] D. P. Allen, J. R. Playfer, N. M. Aly, P. Duffey, A. Heald, S. L. Smith and D. M. Halliday, "On the use of low-cost computer peripherals for the assessment of motor dysfunction in Parkinson's disease--quantification of bradykinesia using target tracking tasks," *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, vol.15, no.2, pp. 286-294, 2007.

[10] J.W. KIM, et al., "Measurement of Angular Velocity of Forearm Pronation/Supination Movement for the Quantification of the Bradykinesia in Idiopathic Parkinson's Disease Patients", *J. Biomed. Eng. Res*, vol.30. pp.142-146, 2009.