

특발성 파킨슨병 환자의 완서증 정량화를 위한 전완 내회전/외회전 운동의 각속도 측정

김지원¹, 이요셉¹, 신진영¹, 이재호¹, 권유리¹, 권도영³, 박건우³, 엄광문^{1,2}
¹건국대학교 의학공학부, ²건국대학교 의공학실용기술 연구소, ³고려대학교병원

Measurement of Angular Velocity of Forearm Pronation/Supination Movement for the Quantification of the Bradykinesia in Idiopathic Parkinson's Disease Patients

Ji-Won Kim¹, Joseph Lee¹, Jin-Young Shin¹, Jae-Ho Lee¹, Yu-Ri Kwon¹, Do-Young Kwon³, Kun-Woo Park³, Gwang-Moon Eom^{1,2}

¹School of Biomedical Engineering, Konkuk University,

²Research Institute of Biomedical Engineering, Konkuk University, ³Korea University Hospital

(Received October 29, 2008. Accepted March 16, 2009)

Abstract

The purpose of this study is to investigate the angular velocity of forearm pronation/supination movement in Parkinson's disease patients, as a quantitative measure of the bradykinesia. Thirteen Parkinson's disease patients (64 ± 11.0 yrs, male:6, female:7) participated in the experiments. The subjects' both right and left forearms were scored by a rater according to rapid alternating movement of hands category in the UPDRS (unified Parkinson's disease rating scale) and the angular velocity of forearm pronation/supination was measured at the same time. As analysis parameters, RMS (root mean square) angular velocity and RMS angle were used. The parameters showed negative correlation with the clinical score (RMS angular velocity: $r = -0.914$, RMS angle: $r = -0.749$). The RMS angular velocity of all clinical scales were significantly different one another except for the non significant difference between those of scale 3 and 4. RMS angle of scale 0 was significantly different from those of scale 2, 3, 4 and that of scale 1 was significantly different from those of scale 3 and 4. This suggests that RMS angular velocity can be used for a quantitative measure of bradykinesia in motor examination.

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

1. 서론

파킨슨병은 사지의 떨림 (진전: tremor), 경직 (rigidity), 동작의 느려짐 (완서증: bradykinesia), 자세불안정 (postural instability) 등을 임상적 특징으로 하며, 이러한 이상 운동 증상들은 환자의 일상생활 동작 (Activities of Daily Living: ADL)을 제한하여 삶의 질을 매우 저하시킨다.

파킨슨병의 심한 정도와 진행 정도를 파악하기 위한 임상 척도로써 임상 의사의 관찰을 통하여 0점에서 4점 (높은 점수는 증상이 심한 것을 나타냄)까지의 점수로 판정하는 UPDRS (unified Parkinson's disease rating scale)가 가장 널리 사용되고 있다. 하지만,

UPDRS는 점수를 판정하는 기준이 객관적이지 못하여, 임상 의사의 개인 내의 판정 신뢰성 (intra-rater reliability)과 임상 의사 간의 판정 신뢰성 (inter-rater reliability)이 모두 낮아 [1] 진단의 정확성과 이를 통한 투약의 효율성이 낮고 환자 상태에 적합한 치료를 결정하기 위해서는 반복적인 시행착오가 필요하다는 심각한 제한점이 있다 [2].

이러한 제한성을 극복하기 위해, UPDRS의 운동 기능 검사들을 정량화하려는 연구들이 있었다. 손가락 벌렸다 오므리기 (finger-taps) 항목의 완서증을 정량화하기 위해 컴퓨터-인터페이스 음악 키보드 [3]와 가속도계 [4]가 사용되었고, 컴퓨터 화면에서의 표적 추종 능력 검사 (target tracking tasks) [5]가 제안되었다. 또한, 족저압 분석기 (foot-scan system)를 이용하여 파킨슨 환자의 보행 분석을 시도한 연구도 있었다 [8]. 하지만 이러한 대부분의 연구들은 임상에서 사용되는 검사 방법과 다른 별도의 setting을 필요로 하

Corresponding Author : 엄광문
(380-701) 건국대학교 의료생명대학 의공학부 재활공학연구소, 511호
Tel : +82-43-852-9890 / Fax : +82-43-852-9890
E-mail : gmeom@kku.ac.kr
본 연구는 한국학술진흥재단 기초연구교제 지원사업의 지원(2008-A419-0022)으로 수행되었습니다.

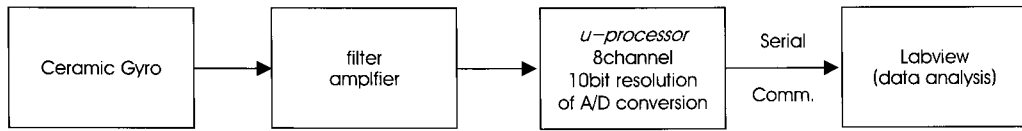


그림 1. 각속도측정시스템.
Fig. 1. angular velocity measurement system.

여 임상적인 실용성이 낮고, 측정치의 편차가 크고 등급 간의 통계적 차이가 없어서 신뢰성이 부족하다.

따라서 본 연구에서는 별도의 setting 없이 임상검사와 동시에 진행이 가능하고 파킨슨병 환자의 느린 임상적 특징을 잘 표현할 수 있는 각속도 측정 시스템을 개발하였다.

UPDRS의 운동기능검사 항목 중 빠른 손놀림 (Rapid alternating movements of hands) 운동은 전완 (forearm)의 내회전 (pronation) 과 외회전 (supination) 운동을 반복하는 동작으로서, 각속도를 기반으로 한 정량적 증상 판정에 적합하여, 본 연구의 첫 번째 적용 대상으로 설정하였다. 따라서 본 연구에서는 개발한 측정 시스템을 이용하여 빠른 손놀림 운동 동안의 측정된 데이터와 임상적 판정 (scoring)한 점수의 상관관계를 분석하여 파킨슨병 환자의 완서증을 정량화할 수 있는 지표를 마련하고자 한다.

II. 방법

A. 측정시스템의 개발

그림 1은 본 연구를 위해 개발한 각속도 측정시스템의 개요이다. 각속도 측정을 위해 자이로센서 (6×10×25 mm, 0.66 mv/deg/sec, CG-L53, NEC/TOKIN)가 사용되었고, 센서는 그림 2와 같이 임상 적용이 용이하도록 하기 위해 손목에 쉽게 탈부착이 가능한 밴드에 삽입하였다. 센서의 삽입위치는 밴드 부착시 전완 원위부 등쪽 부분 (dorsal part of distal forearm)에 올수 있도록 하였고, 이

때 센서의 기준축 (reference axis)은 내회전/외회전 운동의 측정을 위해 그림 2와 같이 운동 방향과 수직이 되도록 하였다.

마이크로프로세서 (atmega8535)는 센서의 전기적인 신호를 250Hz의 10비트의 디지털신호로 변환하였고, 변환된 신호는 시리얼통신을 통하여 컴퓨터로 전달되도록 하였다. 시스템은 8채널의 데이터를 동시에 받는 것이 가능하도록 설계하였고, 본 연구에서는 양쪽의 전완을 위해 2개의 채널만 사용하였다. 데이터 저장과 모니터링을 위해 랩뷰 (LabView 8.0, National instruments)가 사용되었다.

B. 측정 및 분석 방법

고려대학교병원의 특발성 파킨슨병 (Idiopathic Parkinson's disease) 을 앓고 있는 외래환자 13명 (64±11.0 yrs, 남: 6명, 여:7명)의 양쪽 전완 (26개)을 대상으로 실험을 수행하였다. 실험 중 한 명의 임상적 판정 판정에 대해 빠른 내회전/외회전 운동의 점수를 UPDRS에 따라 책정하였다.

피험자는 손을 자연스럽게 편 상태에서 팔꿈관절 (elbow joint) 을 몸에 붙여 고정하였고 가능한 빠르고 크게 전완의 내회전과 외회전을 반복 시행하였다. 측정방법에 대해 충분히 숙지한 상태에서 약 5초간 연습시간을 갖고 10초 동안 양쪽 전완을 측정하였다.

측정된 데이터는 매트랩 (MATLAB 6.5, Mathworks)을 이용하여 분석하였다. 자이로센서 신호의 드리프트 (drift)를 제거하기 위해 1Hz의 차단주파수를 가진 4차 Butterworth 고역통과필터를

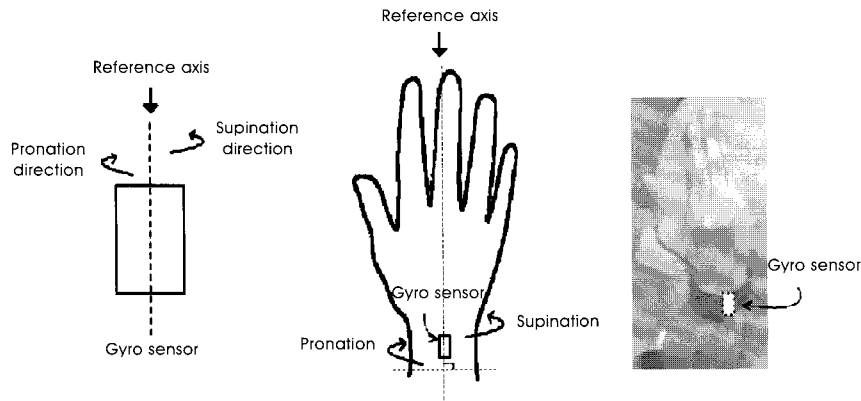


그림 2. 내회전/외회전 운동의 각속도 측정 (오른쪽 팔 등쪽 기준).
Fig. 2. The measurement of angular velocity of pronation/supination movement (dorsal side of right arm).

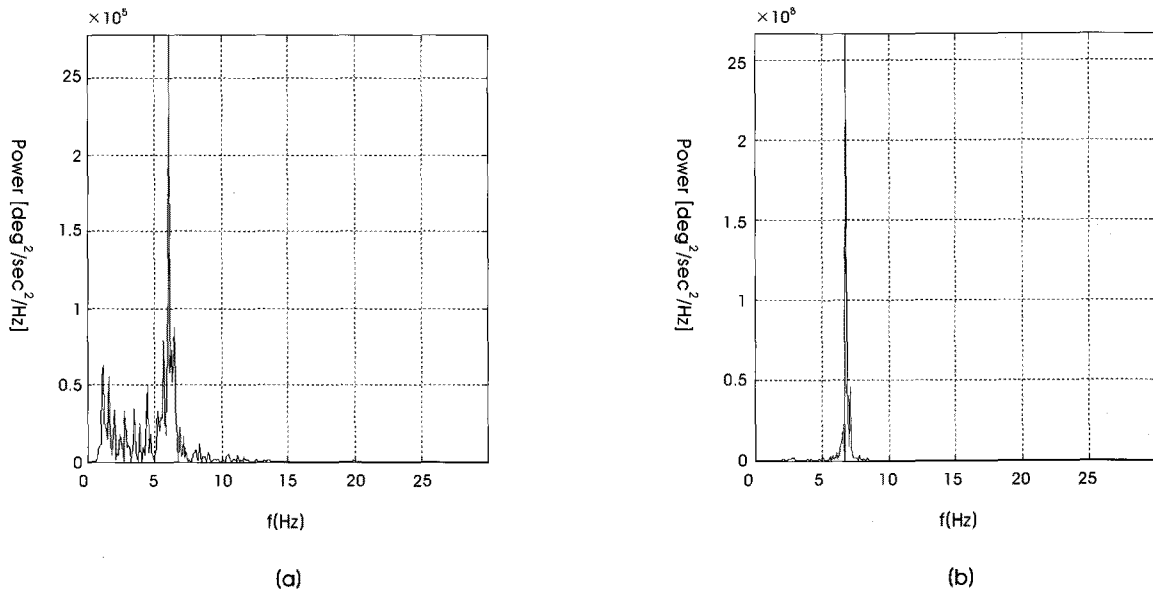


그림 3. 자발적인 움직임과 진전의 주파수 대역이 분리된 피험자. (a)와 겹친 피험자 (b)의 파워 스펙트럼.

Fig. 3. Power spectrum of a subject with distinctive voluntary movement and tremor. (a) and a subject with two patterns overlapping in frequency domain (b).

사용하였다.

진전은 파킨슨병 환자에게서 흔히 발견되는 증상으로서 자발적인 움직임의 각속도 측정에 방해 요인이 된다. 진전의 주파수대역은 5~8Hz로서[7], 진전이 분석파라미터에 영향을 미치지 않게 하기 위해 이대역의 신호를 제거할 필요가 있다. 그림 3의 (a)와 같은 일반적인 환자에서는 자발적인 동작이 느려서 자발적인 동작의 주파수가 진전의 주파수보다 작으므로, 5Hz의 저역통과 필터를 이용하여 진전 신호를 제거할 수 있다. 그러나, 그림 3의 (b)와 같이 증상이 심하지 않아 속도가 빠른 환자의 경우, 자발적 운동의 주파수가 진전의 주파수대역에 겹쳐질 수 있다. 각속도신호의 파워스펙트럼과 임상과의 비디오 분석을 통해, 자발적 운동의 경우에는 진전만 있는 경우와 비교해서 해당 주파수대역에 포함되어 있는 자발적 운동의 최대파워의 크기가 진전의 최대파워보다 매우 큰 것을 확인 할 수 있었다. 따라서, 이러한 경우에는 진전을 무시하고 50Hz의 저역통과 필터를 사용하여 고주파잡음과 전원잡음을 제거하는 것이 바람직하다.

위와 같이 파워스펙트럼 중 진전 주파수 대역에서 진전과 자발적인 움직임을 구별하는 방법을 정량화하기 위하여 다음과 같은 방법을 고안하였다. 비디오 및 파워스펙트럼을 통해 분석한 결과로부터, 진전 주파수대역의 최대파워가 2×10^7 [deg²/sec²/Hz] 이상인 경우 자발적 움직임의 신호로서, 최대파워가 그 이하인 경우 진전신호로서 판정하였다. 이러한 판정의 역치(threshold)는 비디오분석과 주파수 분석을 이용한 시행착오를 통하여 결정하였다. 모든 피험자의 data의 길이는 10초간이므로, 파워는 정량적으로 비교할 수 있다. 이러한 정량적 기준을 통해 판정한 결과, 본 연구에 참가한 환자 중 1인만이 능동적운동의 주파수가 진전 주파수대

역에 포함되는 특성을 보였다.

이러한 필터링을 거친 데이터로부터 각속도와 각도의 평균값 (root mean square: RMS)을 산출하였다. UPDRS 점수와 RMS 각속도 및 RMS각도의 상관관계를 분석하기 위해 SPSS 16.0을 이용하여 Spearman 상관 (correlation) 분석을 실시하였고, UPDRS의 등급별 RMS각속도 및 RMS각도의 차이를 분석하기 위해 변량분석 (ANOVA)과 사후검증 (post hoc test: tukey test, $p < 0.05$)을 실시하였다.

III. 결과

그림 4는 UPDRS 점수가 0에서 4인 5명의 피험자에 대해 각각 점수별로 전형적인 각속도 신호를 나타낸 것이다. 0점의 각속도 신호가 매우 컸고, 점수가 높을수록 각속도 신호의 크기가 줄어드는 것을 볼 수 있다. 병증이 매우 심한 환자인 4점의 피험자는 각속도 신호가 매우 작은 것을 볼 수 있다.

그림 5는 모든 피험자의 양쪽 전완에 대하여 RMS각속도와 RMS각도의 값을 UPDRS 점수가 같은 그룹별로 평균하여 나타낸 것이다 (0점:3개, 1점:7개, 2점:8개, 3점:6개, 4점:2개). UPDRS 점수가 높을수록 RMS각속도와 RMS각도는 유의하게 작았고 ($p < 0.01$), 각각의 상관계수는 RMS각속도: $r = -0.914$, RMS각도: $r = -0.749$ 이었다.

변량분석 결과 RMS 각속도와 RMS 각도 모두 UPDRS 점수간의 유의한 차이를 보였다. ($p < 0.01$)

표 1은 RMS각속도에 대한 변량분석의 사후검증 결과를 나타내고 있다. 3점에 대한 RMS각속도와 4점에 대한 RMS각속도간에

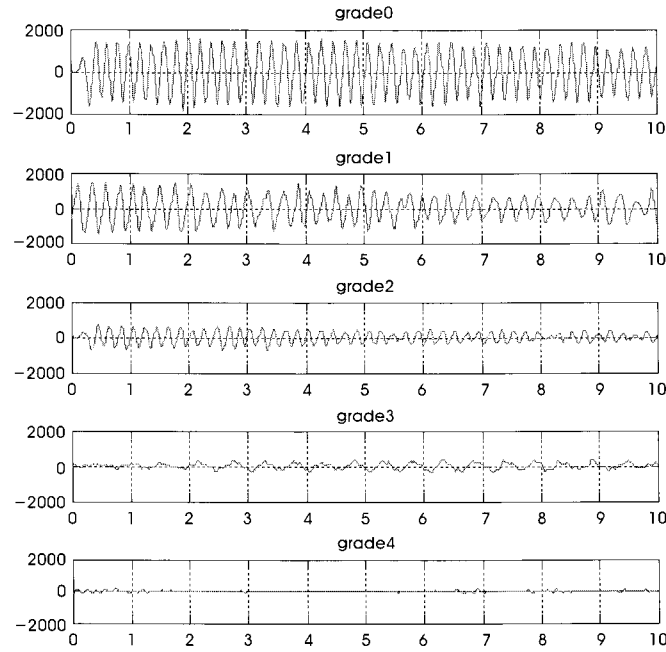


그림 4. 빠른 손놀림 동작의 UPDRS점수에 따른 대표적인 각속도신호.
 Fig. 4. Representative angular velocity signals of rapid alternating movements of hands for different UPDRS scores.

만 차이가 없었고, 다른 모든 그룹 간에 유의한 차이를 보였다.

표 2는 RMS각도에 대한 변량분석의 사후검증 결과를 나타내고 있다. 0점에 대한 RMS각도는 각각 2점, 3점, 4점에 대한 RMS각도와 유의한 차이가 있었고, 1점에 대한 RMS각도는 각각 3점, 4점에 대한 RMS각도와 유의한 차이가 있었다. 그 이외에는 유의한 차이가 없었다.

IV. 고찰

본 연구의 결과는 빠른 손놀림 검사동안의 RMS각속도와 RMS각도가 UPDRS 점수를 잘 반영하고 있는 것을 나타낸다. 특히, UPDRS 점수에 따른 RMS각속도의 높은 상관계수와 그룹간의 통계적 유의한 차이는 파킨슨병 환자의 움직임을 객관적이고 정량적인 값으로 표현할 수 있는 가능성을 시사한다. 즉 RMS 각속도

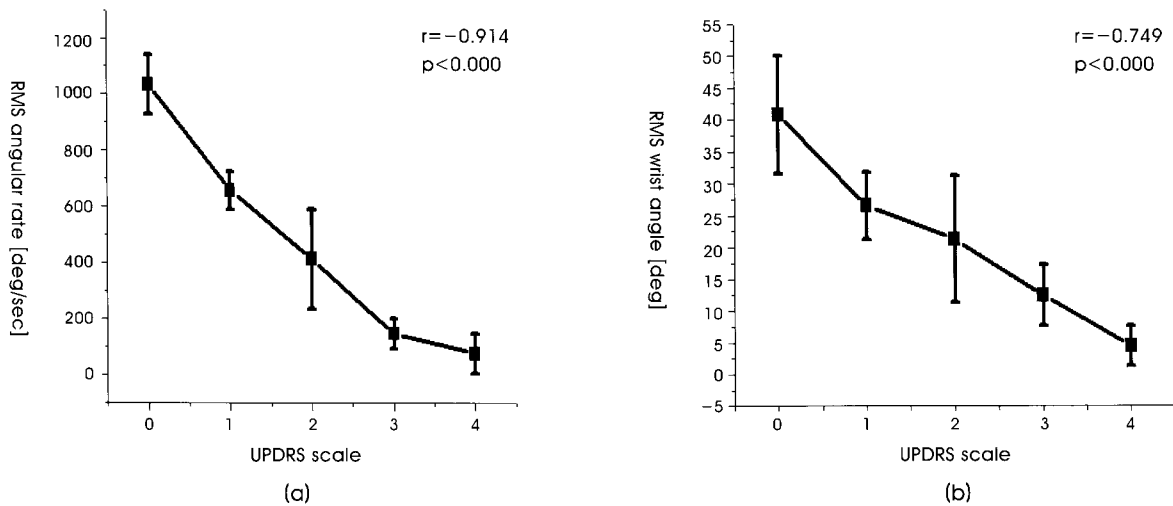


그림 5. 빠른 손놀림 항목동안의 RMS각속도. (a)와 RMS각도(b).
 Fig. 5. RMS angular velocity. (a) and RMS angle (b) during rapid alternating movement of hands.

표 1. RMS각속도의 사후검증 결과

Table 1. Post-hoc-test result for the RMS velocity

	score0	score1	score2	score3	score4
score 0		**	****	****	****
score 1			**	****	****
score 2				**	*
score 3					
score 4					

(*:p<0.05, **:p<0.01, ***:p<0.001, ****: p<0.0001)

는 RMS각도에 비해 파킨슨병 환자의 임상적 증상을 보다 잘 정량화할 수 있는 것으로 판단된다.

기존의 연구들이 측정결과의 큰 편차에 의해 그룹간의 통계적 차이를 제시 하지 못한 반면에[3-5], 본 연구는 UPDRS 점수 3점과 4점에 대한 RMS각속도 간의 유의차가 없었던 것을 제외하고는 모든 그룹간에 유의한 차이가 존재하였다. 4점의 데이터가 2개 뿐인 것을 감안하면 더 많은 피험자 확보를 통해 모든 그룹의 유의한 차이가 가능할 것으로 기대된다. 또한, 본 개발시스템은 임상검사의 정량화를 시도한 기존의 시스템들[3-6]에 비해 임상적 조작이 간편하고 환자의 사용이 용이하여, 쉽게 임상 적용이 가능할 것으로 보인다.

파킨슨환자에게서 운동 완서증과 진전이 동시에 관찰되는 것으로 인해 임상적 진단에 많은 어려움이 있었다. 하지만, 본 연구에서는 진전이 있는 환자의 움직임에서 진전신호를 제거함으로써 동작 중 진전 (action tremor)이 심한 환자의 경우에도 자발적인 움직임을 정확하고 객관적으로 측정할 수 있었다 (RMS 각속도와 UPDRS간의 상관계수는 tremor 제거 전에는 $r = -0.888$, tremor 제거 후에는 $r = -0.914$ 이었다).

앞으로의 연구에서, 본 연구에서 개발한 각속도 측정시스템을 이용하여 빠른 손놀림 항목 뿐 아니라 손가락 벌렸다 오므리기 (finger taps), 다리의 민첩성 (leg agility) 등 여러 운동기능 검사항목의 객관적 측정과 정량적 분석이 가능할 것으로 사료된다. 또한, 여러 운동기능항목에 대한 많은 피험자의 데이터 획득 후, 전문가 시스템 (expert system) 등을 이용한다면 파킨슨병 환자의 완서증에 대해 정량적이고 객관적인 진단이 가능할 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구에서는 파킨슨병 환자의 운동기능검사 항목중 빠른 손놀림에 대하여 RMS각속도와 RMS각도를 산출하였다. 파킨슨병 환

표 2. RMS각도의 사후검증 결과

Table 2. Post-hoc-test result for the RMS angle

	score0	score1	score2	score3	score4
score 0			**	***	***
score 1				*	*
score 2					
score 3					
score 4					

(*:p<0.05, **:p<0.01, ***:p<0.001, ****: p<0.0001)

자의 RMS각속도는 UPDRS로 표현되는 환자 질병의 심한 정도를 잘 반영하고 있었다. 이로부터, 본 연구에서 개발한 시스템은 완서증을 정량적으로 평가할 수 있을 것으로 제안된다.

참고문헌

- [1] S. K. Patrick, A. A. Denington, M. J. Gauthier, D. M. Gillard and A. Prochazka, "Quantification of the UPDRS Rigidity Scale," *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, vol.9, no.1, pp. 31-41, 2001.
- [2] E. J. Van Someren, M. D. Pticek, J. D. Speelman, P. R. Schuurman, R. Esselink and D. F. Swaab, "New actigraph for long-term tremor recording," *Mov Disord*, vol.21, no.8, pp. 1136-1143, 2006.
- [3] 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.
- [4] R. Okuno, M. Yokoe, K. Fukawa, S. Sakoda and K. Akazawa, "Measurement system of finger-tapping contact force for quantitative diagnosis of Parkinson's disease," in *Proc. 29th IEEE Eng Med Biol Soc*, Lyon, France, Aug. 2007, pp. 1354-1357.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] M. L. Latash, *Neurophysiological Basis of Movement*, Human Kinetics, USA, Human Kinetics, 2007, pp. 221-226.
- [8] J. W. Kim and G. M. Eom, "Comparison of the Total Stance Time and the Phase Ratio in Parkinson's Disease Patients and Normal Subjects," *J Biomed Eng Res*, vol. 27, no. 6, pp. 351-356, 2006.