

각속도 측정시스템을 이용한 특발성 파킨슨병 환자와 정상인의 빠른 손놀림 동작의 비교

논문

59-3-30

Comparison of Movement of Rapid Alternating Movements of Hands in Idiopathic Parkinson's Disease Patients and Normal Subjects using Angular Velocity Measurement System

김지원* · 권유리** · 엄광문† · 전재훈* · 이정환* · 이정환* · 권도영*** · 고성범*** · 박병규***

(Ji-Won Kim · Yu-Ri Kwon · Gwang-Moon Eom · Jae-Hoon Jun · Jeong-Han Yi · Jeong-Whan Lee · Do-Young Kwon · Seong-Beom Koh · Byung Kyu Park)

Abstract - The purpose of this study was to analyze bradykinesia of forearm movement in patients with Parkinson's disease (PD) as compared to those of normal subjects. A gyrosensor was selected for the measurement of forearm movement, because it can provide angular velocity signal which is free from the gravitational artifact and also because it can be conveniently used during clinical test of bradykinesia. Forty PD patients (age: 65.7 ± 11.1 yrs, H&Y stage: 2.3 ± 0.5), 14 age-matched elderly subjects (65 ± 3.9 yrs) and 17 healthy young subjects (24 ± 2.1 yrs) participated in this study. Angular velocity during forearm movement of pronation/supination was measured in both arms. Suggested quantitative measures of bradykinesia were root-mean-squared (RMS) angular velocity, RMS angle, peak power and total power which were derived from the angular velocity. ANOVA showed that all measures were significantly different among three groups ($p < 0.001$). Subsequent post-hoc test revealed that all measures in PD patients were significantly smaller than in healthy elderly and healthy young subjects ($p < 0.05$). This results suggest that PD patients can be differentiated from normal subjects using suggested measures.

Key Words : Parkinson's disease, UPDRS, Gyro sensor, Angular velocity, Quantification

1. 서론

파킨슨병(Parkinson's disease)은 뇌의 흑질(substantia nigra)에서 분비되는 신경전달 물질 중 하나인 도파민의 결핍에 의해 생기는 대표적인 퇴행성 뇌질환으로서, 안정시 진전(resting tremor), 경축(rigidity), 완서증(bradykinesia), 자세불안정(postural instability)등을 임상적 특징으로 한다 [1]. 환자수는 60세 이상의 인구에서 1.47% 유병율을 보이며 [2] 인구의 고령화로 인해 앞으로 환자수가 더욱 늘어날 것으로 예상되는 질환이다.

통일 파킨슨병 등급척도(unified Parkinson's Disease rating scale: UPDRS)는 대표적인 임상검사 척도로서, 질환의 심한 정도와 진행 정도를 임상 의사가 환자의 움직임의 관찰이나 신체의 측진을 통해 0점에서 4점까지 점수로 판정을 하는 것이다. 하지만, UPDRS는 임상 의사의 경험에 의존하고 점수를 판정하는 기준이 주관적이며 [3-4], 초기 환자들의

경우의 세밀한 변화는 감별하기 어려워 [5] 효율적인 약물 치료와 수술을 위해서는 반복적인 시행착오가 필요하다는 심각한 제한점이 있다 [6].

따라서, 완서증의 객관적, 정량적인 평가를 위해 동작분석 시스템 [7], 컴퓨터-인터페이스 음악 키보드 [8] 및 족저압 분석 시스템 [9]과 같은 다양한 시스템들이 제안되었으나, 이러한 시스템들은 기존의 임상검사와 다른 별도의 검사 동작과 장비를 필요로 하며 인지 기능이 떨어지는 환자들에게는 적용하기 힘들어 임상적 실용성이 낮다. 또한, 시스템의 크기가 커서 공간의 제약을 많이 받고 비용이 많이 드는 제한점이 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해, 본 연구팀은 완서증의 임상검사 중 하나인 빠른 손놀림(rapid alternating movements of hands) 검사와 동시에 간편하게 환자의 각운동을 측정할 수 있는 각속도 측정 시스템을 개발하였다 [10]. 이 연구에서는 이 검사에 대한 임상적 점수와 개발된 시스템의 평가 지표와의 유의한 상관관계를 볼 수 있었으나, 파킨슨환자와 정상인 그룹, 특히 동일한 연령대인 고령자 대조군과의 비교 분석은 시도되지 못하였으며, 시간영역의 분석 지표만이 사용되었다. 따라서, 본 연구에서는 개발된 시스템의 효용성 및 신뢰성 확인을 위한 두 번째 연구로서, 파킨슨환자와 정상인들을 대상으로 빠른 손놀림 동작 중의 각속도를 측정하고, 이전 연구에서 사용된 분석 지표뿐 아니라 새로운 분석 지표들을 산출하여 환자와 정상인의 차이를 비교하는 것을 목적으로 한다.

† 교신저자, 정회원 : 건국대 의료생명대 의공학부 부교수, 건국대 의공학실용기술연구소·공박

E-mail : gmeom@kku.ac.kr

* 정 회원 : 건국대 의료생명대 의공학부

** 비 회원 : 건국대 의료생명대 의공학부

*** 비 회원 : 고려대학교

접수일자 : 2009년 11월 23일

최종완료 : 2010년 2월 7일

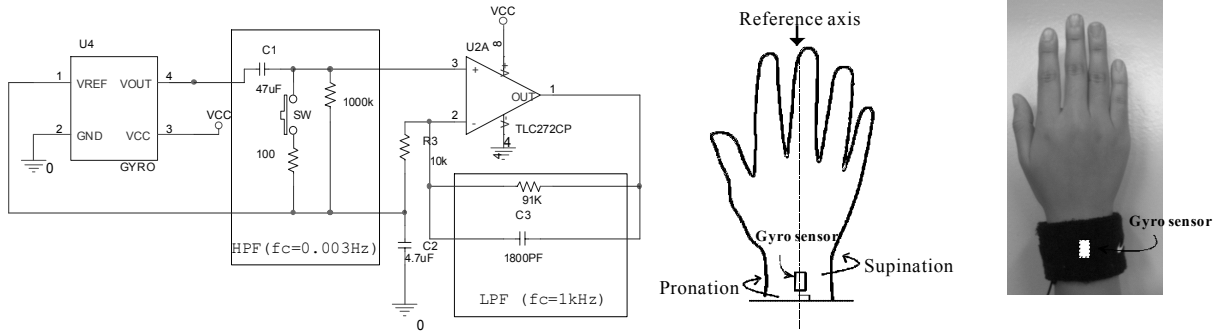


그림 1 필터링 및 증폭을 위한 회로와 자이로센서의 부착 (팔 등쪽 기준)
 Fig. 1 The circuit for filtering and amplification and attachment of gyro sensor (dorsal side of arm)

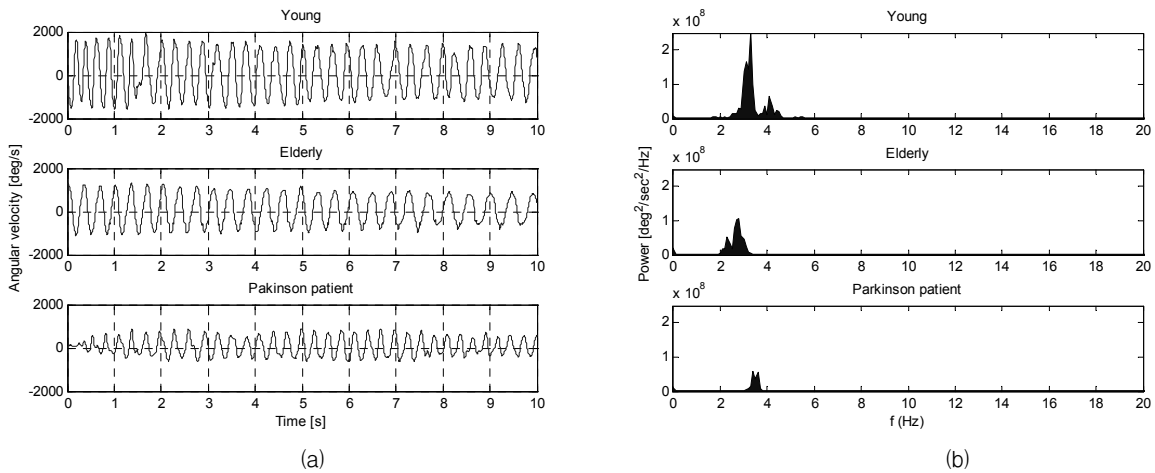


그림 2 정상인과 환자의 대표적인 각속도신호 (a)와 파워스펙트럼 (b)
 Fig. 2 Representative angular velocity signals (a) and power spectrum (b) of normal and patient

2. 방법

고려대학교 안암병원과 구로병원에서 Hoehn and Yahr (H&Y) stage 1~3인 특발성 (idiopathic) 파킨슨병 환자 40명 (65.7 ± 11.1세, H&Y stage: 2.3 ± 0.5)을 대상으로 실험을 실시하였다. 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: 24±2.1세, 고령자 대조군 14명: 65±3.9세)의 정상인이 본 연구에 참여하였다. 모든 피험자는 실험에 사전 동의하였으며, 본 연구는 임상윤리위원회의 승인을 받았다.

환자의 임상 동작 동안 관절의 각속도 측정을 위해 표 1과 같은 특성을 갖는 소형 자이로센서 (CG-L53, NEC/TOKIN, Japan)가 사용되었고, 센서의 신호를 처리하기 위해 기본적인 필터 및 증폭회로(그림 1), 마이크로프로세서(Atmega8535L, Ateml, USA), 랩뷰 (LabView 8.0, National instruments), 매트랩 (MATLAB 6.5, Mathworks)을 이용하였다[10]. 센서는 그림 1과 같이 환자와 임상어의 임상 편의성을 위해 손목에 쉽게 탈부착이 가능한 밴드에 삽입하였다. 센서의 삽입위치는 밴드 부착시 전완 원위부

표 1 자이로센서의 특성

Table 1 Specifications of gyro sensor

Item	Unit	Specifications
Supply voltage	(V)	3
Reference voltage output	(V)	1.3
Current consumption	(mA)	4
Sensitivity	(mV/deg/sec)	0.66±20%
Frequency response	(Hz)	100
Operating temperature	(°C)	-5 to 75
Dimensions	(mm)	6 x 10 x 2.5
Weight	(g)	0.26

등쪽 (dorsal part of distal forearm)에 오도록 하였고, 센서의 기준축은 내회전/외회전 운동의 축과 일치하도록 밴드 내에서 고정하였다.

피험자는 손을 자연스럽게 편 상태에서 팔꿈관절 (elbow joint)을 몸에 붙여 고정하였고 시작 신호와 함께 가능한 빠르고 큰 동작으로 전완의 내회전과 외회전 운동을 반복 시행하였다. 측정방법에 대해 충분히 숙지한 상태에서 약 5초간 연습 후 10초 동안 양쪽 전완의 각속도를 각각 측정하였다. 데이터는 시작과 함께 10초 동안 저장된 후 자동 종료가 되도록 하였다.

측정된 데이터는 자이로센서 신호의 드리프트 (drift)를

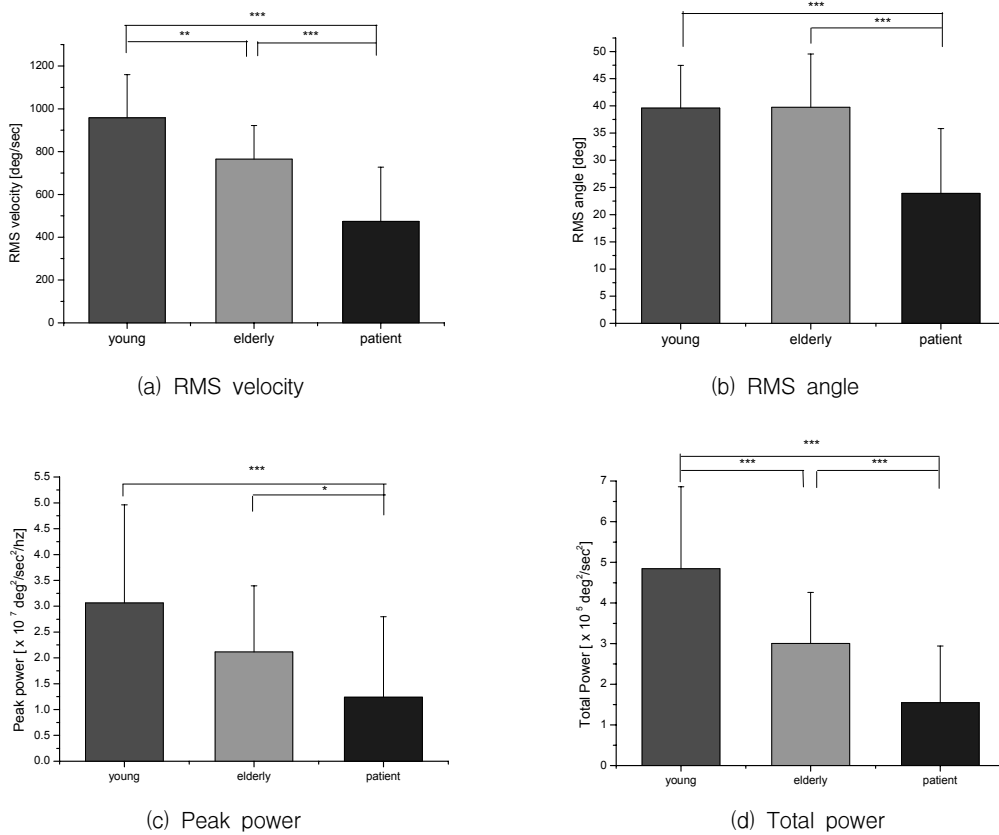


그림 3 정상인과 환자의 분석지표((a) RMS 각속도 (b) RMS 각도 (c) 최대 power (d) 전체 power)의 비교
Fig. 3 Comparison of analysis paramters ((a) RMS velocity (b) RMS angle (c) Peak power (d) Total power) in normal and patient
 (*:p<0.05, **:p<0.01, ***:p<0.001)

표 2 이전 연구들과 본 연구에서 측정 시스템의 객관적인 비교

Table 2 Objective comparison of measurement system in previous research and this study

	Cost	Size	Convenience of manipulation	Constraint of motion*	Time consumption**	Compatibility to clinical test***
Jobbagy et al[7]	X	Δ	X	X	X	X
Tavares et al [8]	Δ	Δ	O	Δ	O	X
Okuno et al [11]	O	O	O	Δ	O	Δ
Allen et al [12]	Δ	O	O	Δ	O	X
Proposed system	O	O	O	O	O	O

*:Is it possible for the patient to move their limbs naturally without any constraint?

** :The time required for examination

***:Whether the motion during experiment is the same as those in clinical test of UPDRS

제거하기 위해 1Hz의 차단주파수를 가진 4차 버터워스 (Butterworth) 고역통과디지탈필터와 전원 잡음 제거를 위해 50Hz의 차단주파수를 가진 4차 버터워스 저역통과 디지탈필터를 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, 각속도신호의 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.

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

3. 결과 및 고찰

그림 2는 정상인 그룹들과 환자 그룹의 대표적인 시간 영

역의 각속도 신호와 주파수 영역의 파워스펙트럼을 나타내고 있다. 각속도 신호의 크기 (amplitude)와 그 파워의 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 것이다. 변량분석결과 모든 분석지표들은 그룹 사이에 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.001$). 사후검증 결과, 모든 분석지표는 환자군에서 고령자대조군 및 젊은 성인보다 작았다 ($p < 0.05$). 특히, RMS각속도와 RMS각도 및 전체파워에서 경향이 현저한 것으로부터 ($p < 0.001$), 이 분석지표들은 대조군에 비해 움직임이 느린 파킨슨환자의 임상적 특징을 표현할 수 있음을 알 수 있다. 또한, RMS각속도와 전체파워는 젊은성인에 비해 고령자대조군에서 유의하게 작았으므로 ($p < 0.01$), 연령에 따른 동작능력의 저하도 표현할 수 있음을 알 수 있다.

기존의 시도된 연구들[7-9,11-12]에서는 시스템의 크기가 크고 고가의 장비이거나, 임상검사에서 사용되지 않는 별도의 동작을 필요로 하여, 고령의 인지기능이 떨어지는 환자를 상대로 사용하기에는 측정의 객관성이 부족하며, 임상이가 새로운 동작에 대한 이해를 해야 한다는 제한점이 있어서 임상에서 사용되지 못하였다(표 2). 본 연구에서 제안한 시스템은 별도의 검사 동작 및 실험세팅이 필요 없이 임상검사와 동시에 측정이 가능하고, 소요비용이 적고 시스템의 본체가 작고 가볍기 때문에 (14×15×5 cm, 0.4kg) 임상이가 평소 사용하는 진료실 뿐 아니라 내원한 환자들의 병동에서도 휴대용으로 쉽게 사용할 수 있어서 임상적 효용성이 매우 높을 것으로 기대된다. 또한, 다양한 관절에 적용이 가능하여 빠른 손놀림 외에도 손운동 (hand movements), 손가락 벌렸다 오무리기 (finger-tapping), 발끝 두드리기 (toe-tapping) 등과 같은 다양한 임상 동작에도 적용이 가능할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 일부 분석지표(RMS각속도와 전체파워)에서 젊은성인과 고령자 사이의 유의한 차이와 사용된 모든 지표들에서 환자와 고령자대조군 및 젊은성인 간에 현저한 차이가 있음을 밝힘으로써, 젊은 성인과 고령자 뿐 아니라 환자와 정상인의 정량적인 구별이 가능함을 보였다는 점에서 의의가 크다. 보다 많은 환자들의 임상 데이터와 정량적으로 산출된 분석지표들을 이용하여 인공신경망(neural network) 과 같은 진단시스템을 구현한다면, 파킨슨환자의 임상 진단에 보다 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결 론

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

감사의 글

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단(2009-0075436와 313-2008-2-D01321)의 지원을 받아 수행된 연구임

참 고 문 헌

- [1] Koller, W.C., et al., "Falls and Parkinson's disease", Clin Neuropharmacol, vol.12, pp.98-105, 1989.
- [2] Seo, W.K., et al., "Prevalence of Parkinson's disease in Korea", J Clin Neurosci, vol.14, pp.1155-1157, 2007.
- [3] Fahn S, et al. "Recent developments in Parkinson's disease. MacMillan Healthcare Information", Raven Press, New York pp.153.164, 1987.
- [4] Machado, A., et al., "Deep brain stimulation for Parkinson's disease: surgical technique and perioperative management", Mov Disord, vol.21 Suppl 14, pp.S247-258, 2006.
- [5] Koop, M.M., et al., "Quantitative measures of fine motor, limb, and postural bradykinesia in very early stage, untreated Parkinson's disease", Mov Disord, vol.23, pp.1262-1268, 2008.
- [6] Van Someren, E.J., et al., "New actigraph for long-term tremor recording", Mov Disord, vol.21, pp.1136-1143, 2006.
- [7] Jobbagy, A., et al., "Analysis of finger-tapping movement", J Neurosci Methods, vol.141, pp.29-39, 2005.
- [8] Taylor Tavares, A.L., et al., "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, pp.1286-1298, 2005.
- [9] KIM J.W., et al., "Comparison of the Total Stance Time and the Phase Ratio in Parkinson's Disease Patients and Normal Subjects", J Biomed Eng Res, vol.27, pp.351-356, 2006.
- [10] KIM J.W., 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.
- [11] Okuno, R., et al., "Measurement system of finger-tapping contact force for quantitative diagnosis of Parkinson's disease", Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, vol.2007, pp.1354-1357, 2007.
- [12] Allen, D.P., et al., "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, pp.286-294, 2007.