

특발성 파킨슨병 환자의 하지 완서증 정량화를 위한 발 두드리기 동작의 각속도 분석

논 문

59-11-29

Analysis of Angular Velocity during Toe Tapping for the Quantification of the Lower Limb Bradykinesia in Patients with Idiopathic Parkinson's Disease

김 지 원* · 권 유 리* · 엄 광 문† · 김 형 식* · 이 정 한* · 권 도 영** · 고 성 범** · 박 병 규** · 권 대 규***

(Ji-Won Kim · Yu-Ri Kwon · Gwang-Moon Eom · Jeong-Han Yi · Hyung-Sik Kim · Do-Young Kwon · Seong-Beom Koh · Byung Kyu Park · Tae-Kyu Kwon)

Abstract - The purpose of this study was to analyze bradykinesia of toe tapping movement in patients with Parkinson's disease (PD) as compared to those of normal subjects. 39 PD patients (age: 65.5 ± 11.2 yrs, H&Y stage: 2.3 ± 0.5), 14 elderly subjects with comparable mean age (65.0 ± 3.9 yrs) and 17 healthy young subjects (24.1 ± 2.1 yrs) participated in this study. Angular velocity during repetitive toe tapping movement was measured in both feet using a gyro sensor system. 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 signal. 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 ($p < 0.02$). All measures were significantly correlated with UPDRS scores ($r = -0.689 \sim -0.825$). These results suggest that the developed system can be used as quantitative measures of the lower limb bradykinesia in PD patients.

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

1. 서 론

파킨슨병(Parkinson's disease)의 임상검사를 위해 통합파킨슨병척도검사(unified Parkinson's disease rating scale: UPDRS)가 널리 사용되고 있다. 하지만, UPDRS는 의사의 경험에 의존하기 때문에 검사 방법이 매우 주관적이고[2-3], 약물 치료와 수술을 위해서는 반복적인 시행착오가 필요하다는 심각한 제한점이 있다[4]. 또한, 임상가의 검사방법을 능숙하게 익히는 것이 쉽지 않고, 능숙한 임상가의들조차 같은 환자를 대상으로 시행한 검사 결과가 서로 유의한 차이를 보이는 등[5] 검사 결과의 신뢰성에 있어서 문제가 되고 있다. 최근에는 그를 수정 보완하기 위해 MDS (Movement Disorder Society)-UPDRS가 고안되기도 하였지만[1], 여전히 주관적이고 경험에 의존하고 있다.

따라서, 파킨슨환자의 임상 검사를 객관적이고 정량적으로 평가할 수 있는 방법이 요구되고 있고, 이를 위해 파킨슨병 환자의 임상적 특징 중 하나인 완서증(bradykinesia)을

정량적으로 평가하기 위한 많은 연구들이 있었다. 손가락 관절 움직임을 정량적으로 평가하기 위해 Jobbagy 등은 동작분석시스템(precision image-based motion analyzer; PRIMAS)을 이용 하여 움직임을 좌표를 측정하였고[6], Tavares 등은 컴퓨터-인터페이스 음악 키보드를 이용하여 움직임을 속도를 측정 하였다[7]. 또한, Okuno 등은 가속도계와 접촉 센서(touch sensor)를 이용하여 다양한 파라미터들을 추출하였다[8]. Koop 등은 자이로센서로 구성된 Motus 동작분석시스템을 이용하여 전완의 외회전-내회전(pronation-supination) 동작을 정량적으로 측정하였다[9].

본 연구팀도 환자의 각운동을 측정할 수 있는 각속도 측정시스템을 개발 하였고 전완 외회전-내회전 움직임에 대하여 각속도, 각도 그리고 파워스펙트럼 분석을 통해 정상인과 환자의 비교 분석을 실시하였다[10].

그러나, 환자의 완서증을 평가하기 위한 임상검사는 다양한 신체 부위에서 이루어지고 있음에도 불구하고 현재까지 완서증 정량화를 위한 기존의 연구들의 노력은 상지(손가락과 손목 등) 동작에만 국한되어 있었다. 또한, 개발된 시스템이 실제 임상검사에 적용되기 위해서는 환자와 정상인의 움직임 특성의 구별 뿐 아니라 환자 질병의 정도(severity)에 따른 움직임 특성도 잘 표현할 수 있는지 유효성 검사(validation)가 이루어져야 한다.

따라서, 본 연구에서는 각속도 측정시스템[10]을 이용하여 UPDRS 운동기능 검사 항목 중 하지의 완서증 평가를 위해 빈번히 사용되고 있는 발 두드리기(toe tapping) 동작을 정량적으로 측정하였고, 정상인과의 비교 분석 뿐 아니라 측정

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

E-mail : gmeom@kku.ac.kr

* 정 회 원 : 건국대 의료생명대 의학공학부

** 비 회 원 : 고려대학교

*** 비 회 원 : 전북대학교

접수일자 : 2010년 4월 9일

최종완료 : 2010년 10월 20일

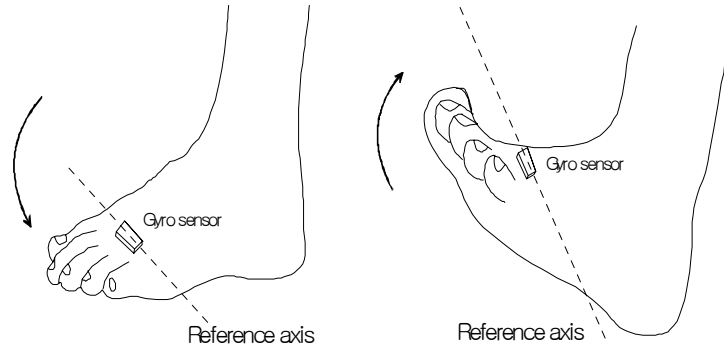


그림 1 발 두드리기 검사를 위한 자이로센서의 부착 부위
 Fig. 1 Attachment position of gyro sensor for foot tapping examination



그림 2 정상인과 환자의 대표적인 각속도 신호
 Fig. 2 Representative angular velocity signals of normals and patients

한 데이터와 임상 의사가 판정 (scoring)한 점수의 상관관계를 분석하여 파킨슨병 환자의 하지 완서증을 정량화할 수 있는 지표를 마련하고자 한다.

2. 방법

고려대학교 안암병원과 구로병원의 특발성 (idiopathic) 파킨슨병 질환을 앓고 있는 외래 환자 39명 (65.5 ± 11.2세, H&Y stage: 2.3 ± 0.5)이 본 연구에 참여 하였다. 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.

Toe tapping 동작의 각속도를 측정하기 위해 이전 연구에서 개발한 각속도 측정 시스템 [10]을 이용하였다. 자이로 센서는 환자와 임상 의사의 임상 편의성을 위해 측정부위에 쉽

게 탈부착이 가능하도록 밴드에 삽입하였고 그림 1과 같이 밴드 부착 시 센서가 중족골 (metatarsals)에 위치하도록 하였다. 이때 센서의 기준 축 (reference axis)은 tapping 동작 중 저굴/배굴 (plantar/ dorsi flexion) 운동의 축과 일치하도록 하였다.

피험자는 일반 의자에 편하게 앉은 상태에서 시작 신호와 함께 발꿈치(heel)를 바닥에 고정시킨 채 가능한 빠르고 큰 동작으로 발 두드리기 운동을 반복 시행하였다. 피험자는 측정방법에 대해 충분히 숙지한 상태에서 약 5초간 연습 후 10초 동안 양쪽 발의 각속도가 각각 측정되었다. 측정된 데이터는 오프셋 제거와 전원잡음 제거를 위해 4차 버터워스 (Butterworth) 대역통과 디지털필터 (1~50hz)를 사용하였다.

분석 지표로서, 시간영역 (time domain)의 RMS 각속도와 RMS 각도 그리고 주파수영역 (frequency domain)의 최대 파워 (peak power)와 전체 파워 (total power)가 산출되었다. 데이터의 신호처리 및 분석 지표 산출은 매트랩을 이용

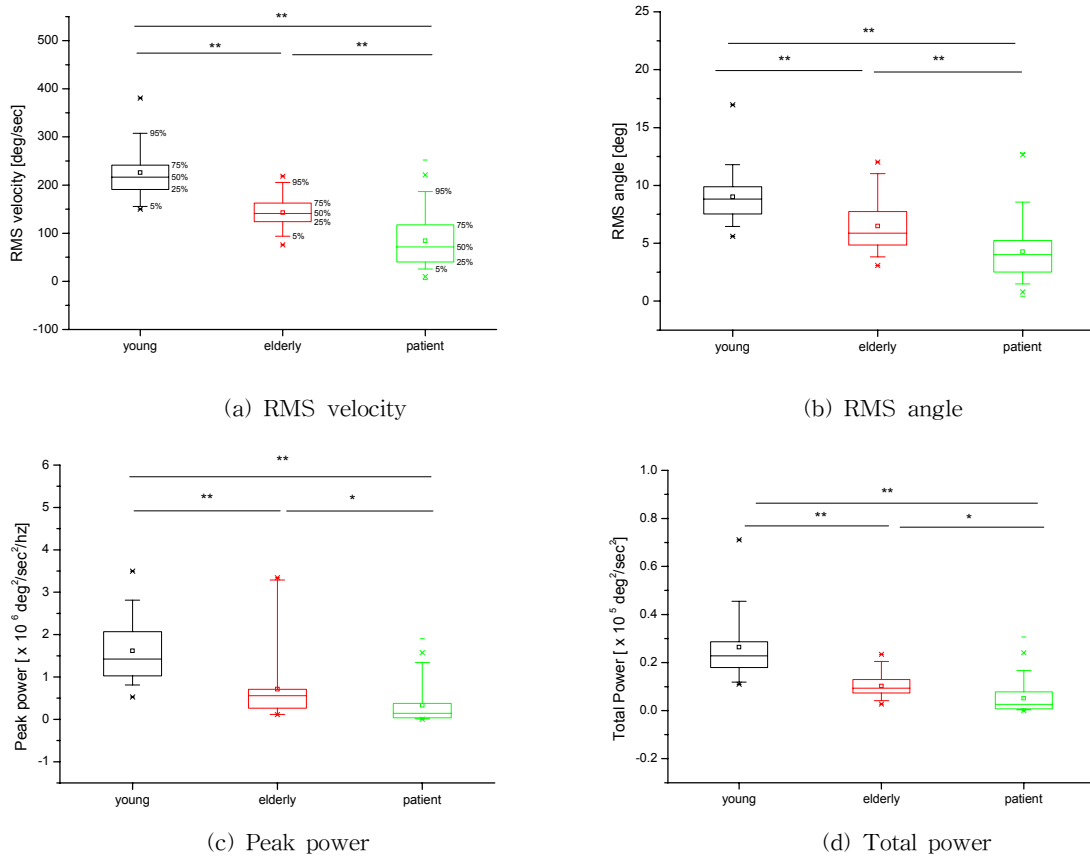


그림 3 정상인과 환자의 분석지표((a) RMS 각속도 (b) RMS 각도 (c) 최대 power (d) 전체 power) 의 비교
Fig. 3 Comparison of analysis paramters ((a) RMS velocity (b) RMS angle (c) Peak power (d) Total power) in normal and patient (*:p<0.02, **:p<0.001)

하였다 (MATLAB 6.5, Mathworks).

두 명의 임상외과 과킨슨환자의 질병 정도를 평가하기 위해 본 연구에 참여하였다. 각각의 임상외과는 모든 환자에게 대하여 발두드리기 움직임이 담긴 비디오 파일 분석을 통해 기존의 임상 검사 방법을 토대로 점수를 판정하였고, 각 환자의 점수는 두 임상외과의 평균값으로 정의하였다.

각 분석지표의 피험자그룹간의 차이 분석을 위해 변량 분석 (Analysis of variance: ANOVA)을 실시하였고, 사후검증 (post hoc test)으로서 Tukey 검증을 실시하였다. 임상외과가 판정한 점수와 분석 지표들과의 상관관계를 분석하기 위해 Spearman 상관 (correlation)분석을 실시하였다.

반복비교를 고려하여 통계적 유의도는 0.02로 설정하였다. 모든 통계처리는 SPSS 16.0을 이용하였다.

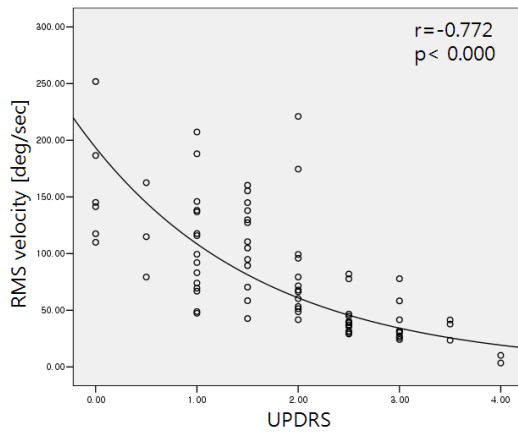
3. 결과 및 고찰

그림 2는 정상인 그룹들 (젊은 성인, 고령자)과 과킨슨환자 그룹(UPDRS 점수가 0에서 4인 5명의 피험자)의 대표적인 각속도 신호를 나타내고 있다. 각속도 신호의 크기는 정상인 그룹이 환자그룹에 비해 컸다. 환자그룹에서는 점수가 0점(grade 0)인 환자가 가장 컸고, 점수가 높을수록 신호의

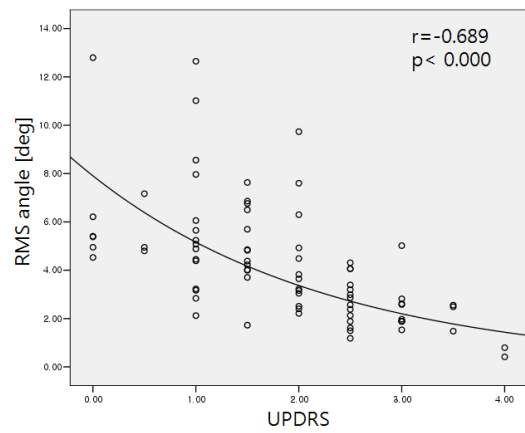
크기가 작아지는 것을 볼 수 있었다.

그림 3은 산출된 분석지표들을 젊은 성인, 고령자 그리고 환자에 대해 비교한 박스차트 (box chart)이다. 변량분석결과 모든 분석지표들은 그룹들 사이에 유의한 차이를 보였다 ($p<0.001$). 사후검증 결과 시간영역의 모든 분석지표들에서 환자군이 정상인 그룹들에 비해 유의하게 작은 것을 볼 수 있었고($p<0.001$), 주파수영역의 분석지표들에서도 환자군과 정상인 사이에 유의한 차이가 있었다($p<0.02$). 특히 시간영역의 분석지표인 RMS 각속도와 RMS 각도에서 이 경향이 현저한 것을 알 수 있었다($p<0.001$). 이것은 과킨슨환자의 평균적인 동작 속도가 동일연령의 고령자에 비해 매우 느리고 움직임의 평균적 각도 범위 또한 매우 작아지는 것을 의미한다. 또한, 모든 분석지표들에서 젊은 성인에 비해 고령자 그룹이 유의하게 작은 것을 통해 연령에 따른 움직임의 저하도 표현이 가능하다는 것을 알 수 있다.

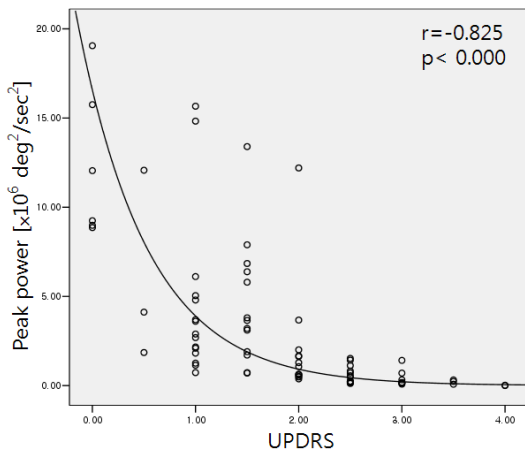
그림 4는 UPDRS 점수와 모든 분석지표들 사이의 상관관계를 분석 한 것이다. UPDRS 점수가 높을수록 모든 분석지표들의 값은 비선형적으로 작아지는 것을 볼 수 있었다. 모든 분석지표들은 UPDRS 점수와 유의한 음(negative)의 상관관계를 보였다($p<0.000$). 상관계수는 각각 RMS 각속도: $r=-0.772$, RMS 각도: $r=-0.689$ 최대파워: $r=-0.825$ 그리고 전체파워: $r=-0.779$ 였다. 본 연구의 결과는 시간영역



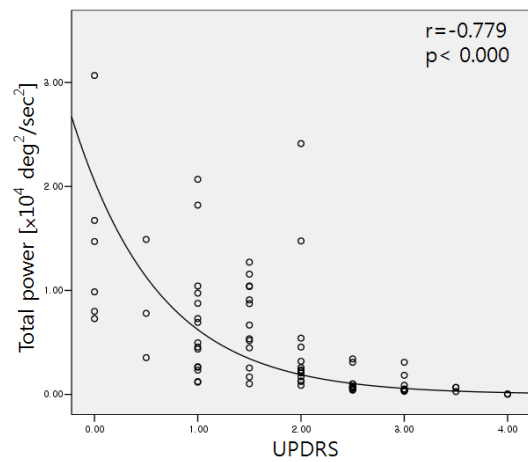
(a) RMS velocity



(b) RMS angle



(c) Peak power



(d) Total power

그림 4 UPDRS 점수와 분석지표 사이의 상관관계 분석 ((a) RMS 각속도 (b) RMS 각도 (c) 최대 power (d) 전체 power)

Fig. 4 Analysis of correlation between UPDRS scores and analysis indices ((a) RMS velocity (b) RMS angle (c) Peak power (d) Total power)

과 주파수영역의 모든 분석지표들이 임상적들이 판정한 점수를 잘 반영하고 있다는 것을 나타낸다. 특히, 주파수의 영역의 최대 파워는 UPDRS 점수와 상관계수가 가장 높았다. 이것은 파킨슨환자의 반복적인 발 두드리기 움직임동안 발생하는 주파수 성분 중 최대값이 환자의 질병 정도를 잘 나타내고 있다는 것을 의미한다.

UPDRS의 점수에 따라 모든 분석 지표들이 비선형적으로 작아졌던 것은 임상적들이 발두드리기 검사 항목에 대한 판정 점수들의 차이가 등간격이 되지 않을 가능성을 시사한다. 이것은 점수가 낮은 그룹들 간의 움직임 차이가 점수가 높은 그룹들 간의 움직임 차이가 현저히 작아 증상이 심한 환자들의 점수 판정시 임상적들이 경험에 더 의존할 가능성이 크고 경험이 적은 임상적들의 경우 판정의 신뢰도가 낮을 가능성이 있다. 본 연구의 분석 지표들은 객관적인 수치를 제공함으로써 환자의 임상적 특징을 정량화 할 수 있고, 환자 움직임에 대한 다양한 정보를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

이전의 연구에서는 각속도 측정시스템을 이용하여 운동기능검사 중 상지의 완서중 평가에 주로 사용되는 빠른 손놀림항목에 대해서 움직임을 정량적으로 측정하였고 파킨슨병 환자와 정상인 사이에 유의한 차이가 있는 것을 확인한 바 있다[10]. 본 연구에서는 빠른 손놀림 검사 뿐 아니라 발 두드리기 검사에서도 환자와 정상인 사이의 정량적인 구별이 가능하다는 것을 확인하였고, 더 나아가 현재 사용되고 있는 임상검사와의 상관성이 매우 높다는 것을 발견하였다는 점에서 그 의미가 크다 할 수 있다. 특히, 이전의 빠른 손놀림 항목 이외에도 발 두드리기 항목에서 본 시스템의 효용성을 확인한 것은 동일한 시스템이 다양한 신체부위의 운동 완서중에 적용이 가능하다는 것을 시사한다.

기존 연구들에서 제안하는 시스템들[6-9]이 공간, 비용, 임상적 조작의 어려움 등 많은 제한점들에 의해 아직까지 임상적용이 이루어지지 못하였다. 하지만, 본 시스템은 크기가 작고(14×15×5 cm, 0.4kg) 비용이 저렴하며 별도의 실험 셋팅이 필요 없이 다양한 임상 검사 항목들에 대해서도 측

정이 가능하여 실제 임상 적용이 매우 용이할 것으로 기대된다.

4. 결 론

본 연구에서는 각속도측정시스템을 이용하여 발 두드리기 동작의 정량적인 측정을 통해 정상인과 환자들을 객관적인 지표로 비교 분석하였고, 기존 임상점수와 상관성을 분석하였다. RMS각속도, RMS 각도 전체파워 그리고 최대파워는 환자와 고령자대조군 및 젊은 성인 사이에 유의한 차이를 보였다. 또한, 모든 분석지표들은 임상점수와 유의한 음의 상관관계를 보였다. 이로부터, 본 연구의 시스템은 파킨슨환자의 하지 완서증을 정량적으로 평가할 수 있을 것으로 제안된다.

감사의 글

이 연구는 교과부 한국연구재단 일반기초협동연구 지원사업 (No. 2009-0087031), 일반기초개인연구 지원사업(No. 313-2008-2-D01321), 2010년도 지식경제부 QoLT 기술개발사업 (No. 10036494)으로 이루어짐

참 고 문 헌

[1] Goetz, C.G., et al., "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, pp.2129-2170, 2008.

[2] Fahn S, et al. "Recent developments in Parkinson's disease. MacMillan Healthcare Information", Raven Press, New York pp.153.164, 1987.

[3] 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.

[4] Van Someren, E.J., et al., "New actigraph for long-term tremor recording", *Mov Disord*, vol.21, pp.1136-1143, 2006.

[5] Hely, M.A., et al., "Reliability of the Columbia scale for assessing signs of Parkinson's disease", *Mov Disord*, vol.8, pp.466-472, 1993.

[6] Jobbagy, A., et al., "Analysis of finger-tapping movement", *J Neurosci Methods*, vol.141, pp.29-39, 2005.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 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.

[10] KIM J.W., et al., "Comparison of movement of rapid alternating movements of hands in idiopathic Parkinson's disease patients and normal subjects using angular velocity measurement system", *J KIEE*, vol.59, pp.674-677, 2010.