

파킨슨병 환자의 경직에 대한 임상적 평가의 정량화

이재호¹, 김지원¹, 권유리¹, 엄광문^{1,2}, 고성범³, 김형식¹, 이정환¹, 이정환¹

¹건국대학교 의학공학부

²건국대학교 의공학실용기술연구소

³고려대학교병원 신경과

Quantification of Clinical assessment of Rigidity in patients with Parkinson's Disease

Jae-Ho Lee¹, Ji-Won Kim¹, Yu-Ri Kwon¹, Gwang-Moon Eom^{1,2}, Seong-Beom Koh³, Hyung-Sik Kim¹, Jeong-Han Yi¹, Jeong-Whan Lee¹

¹School of Biomedical Engineering, Konkuk University

²Research Institute of Biomedical Engineering, Konkuk University

³Department of Neurology, Korea University Hospital

(Received December 30, 2009. Accepted July 12, 2010)

Abstract

The purpose of this study was to quantify the clinical assessment of rigidity at wrist in patients with Parkinson's disease. The experimental system was designed that the effect of gravity was negated by restricting motion at the horizontal plane and inertia was predetermined from a biomechanical measurement. Forty five patients with Parkinson's disease participated in this study. Viscoelastic properties were calculated from the experimental data acquired during intermittent passive movement of wrist. Viscoelastic constants correlated well with the rigidity scores of UPDRS, i.e., Spearman's $r=0.733$ and 0.905 for spring and damping constants, respectively. The results suggest that viscoelastic properties can be used as quantitative measures of rigidity.

Key words : Parkinson's disease, UPDRS, rigidity, quantification, viscoelasticity

1. 서론

파킨슨병은 대표적인 신경퇴행성 장애의 하나로 도파민의 부족과 운동기능을 담당하는 신경계의 이상에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다[1]. 파킨슨병은 사지의 떨림(안정 시 진전: resting tremor), 경직(rigidity), 동작의 느려짐(완서증:bradykinesia), 자세의 균형제어 이상(postural instability)등을 임상적 특징으로 하며, 이러한 증상들은 파킨슨병 환자의 일상생활 동작(Activities of Daily Living: ADL)을 방해하여 삶의 질을 매우 저하시킨다[2].

파킨슨병의 진단을 위한 임상척도로 UPDRS (Unified Parkinson's disease Rating Scale)이 가장 널리 사용되고 있으며, 이 중 part III 운동기능검사(motor examination)의 경직평가기준은 임

상의가 경직의 정도를 0-4점의 점수로 판정하도록 되어있다. (표 1) 하지만 UPDRS 경직평가기준은 객관적이지 못하여, 임상적 경험에 근거한 주관적 판단에 의해 점수를 판정하도록 하고 있으며 파킨슨병 환자의 임상 증상의 작은 변화를 표현할 수 없다[3]. 또한 진단의 정확성과 이를 통한 투약의 효율성이 낮아서, 환자상태에 적합한 치료를 결정하기 위해 반복적인 시행착오가 필요하다는 심각한 제한점이 있다[4]. 파킨슨병 환자의 치료의 효율성은 환자의 증상을 정확히 진단하는 것에 크게 의존하므로, 임상적 증상의 정량화 및 객관화는 효율적인 치료로 이어질 수 있어 환자의 삶의 질 향상에 필수적이라 할 수 있다[5].

따라서 파킨슨병의 경직을 정량화하고자 하는 많은 시도가 있었다. Margaret 등은 경직을 최대토크와 일(work)의 관점에서 평가하였고[6], Prochazka 등은 경직을 역학적 임피던스(mechanical impedance)의 관점에서 평가하였으나, 환자 및 진단에 따라 임피던스와 UPDRS 경직점수의 관계가 일정치 않음을 보고하였다[7]. 또한, Fung 등은 임펄스(impulse)와 일을 통해 경직을 평가하

Corresponding Author : 엄광문

충북 충주시 단월동 건국대학교 의료생명대학 511호

Tel : +82-43-852-8056 / Fax : +82-43-851-0620

E-mail : gmeom@kku.ac.kr

본 연구는 교육과학기술부의 지원으로 이루어졌음 (2007-0055291, 2009-0087031)

표1. UPDRS 경직 검사 척도

Table 1. UPDRS Rigidity rating scale

UPDRS Rigidity Rating Scale	
0	Rigidity absent
1	Rigidity slight or detectable only when activated by mirror or other movements
2	Rigidity mild to moderate
3	Rigidity marked, but full range of motion easily achieved
4	Rigidity severe; range of motion achieved with difficulty

표2. 환자의 정보

Table 2. Information of the patients

UPDRS Rigidity score	number of patients	mean age(SD)	H-Y stage
0	11	65.2(8.3)	1.6(0.8)
1	13	66.5(9.7)	2.3(0.5)
2	16	67.1(5.9)	2.6(0.4)
3	5	68(8.5)	3.6(0.5)
Total	45	66.6(7.8)	2.4(0.8)

였으며[8], Sepehri 등은 경직을 스프링상수와 일로 분리하여 측정하였다[9].

이처럼 과거의 많은 연구자들이 파킨슨병 환자의 경직을 정량화하기 위한 여러 가지 역학적 평가변수들을 제안하였으나, 다음과 같은 한계가 있었다. (1)평가변수의 도출과정에서 중력 및 관성모멘트의 영향을 무시 (2)평가변수는 운동의 속도에 크게 의존 (3)평가실험 중 종종 환자의 능동적 움직임이 발생.

따라서 이러한 방법들은 평가변수의 신뢰도(reliability)와 경직 평가 지표로서의 타당성(validity)을 제한하였다.

본 연구에서는 중력 및 관성모멘트의 영향을 고려하고, 운동속도에 의존하지 않는 평가변수를 개발하여, 경직을 보다 객관적으로 정량화하고자 하였다.

II. 방법

A. 피험자

본 연구에는 파킨슨병 환자 45명이 참가하였다 (표 2). 본 연구는 윤리 위원회의 승인과 피험자들에 대한 명시적 동의를 받았다.

B. 측정 시스템

파킨슨병 환자의 손목경직 측정 장치는 측정부와 신호처리부로 구성된다. 그림 1은 측정부를 나타내며, 크게 기계장치와 센서로 분류된다. 기계장치는 1) 손과 전완을 올려놓기 위한 알루미늄 판, 2) 손목관절을 중심으로 손을 회전시키기 위한 회전베어링과 반원판 및 3) 손목운동을 인가하기 위한 손잡이로 구성하였다. 양방향

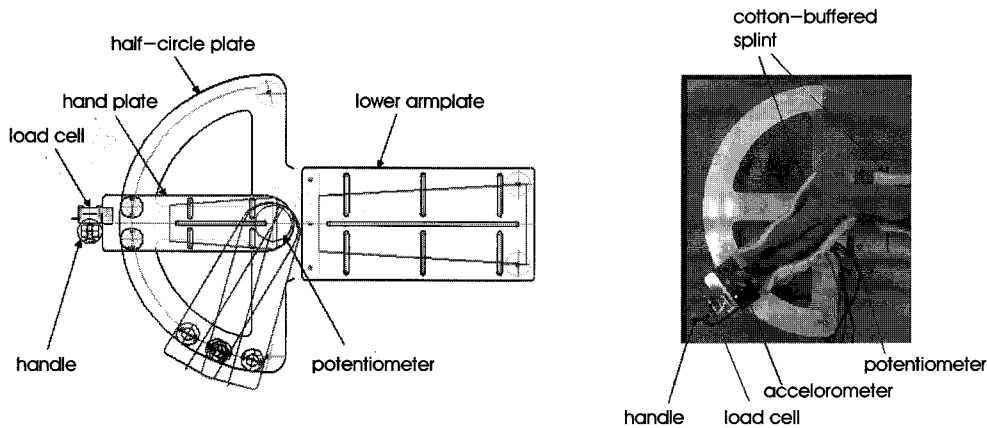


그림 1. 저항토크를 측정하기 위한 실험장치 구성
Fig. 1. Experimental setup for the measurement of resistive torque



그림 2. 손목 경직 측정시스템의 블록선도
 Fig. 2. Block diagram of wrist rigidity measurement system

로드셀(UMMA-10K, DACELL, Korea)을 손잡이와 손관의 사이에 위치시켜, 측정된 힘과 힘의 회전 반경으로부터 저항성 토크를 산출하였다. 손목관절 각도를 측정하기 위해 회전형 가변저항(J50s, COPAL ELECTRONICS, Japan)을 손목 관절축에 고정하였다.

그림 2는 신호 처리부를 나타낸다. 각 센서의 신호는 필터링과 증폭을 거쳐 Labview DAQ (Data Acquisition) 보드를 통하여 AD변환하였다. 차후 Matlab 6.5를 이용하여 데이터 분석을 실시하였다.

C. 실험방법

실험 전, 임상가가 UPDRS 경직점수를 매겼다. 그 후, 실험자가 측정 장치의 손잡이를 잡고 손목의 수동적인 관절운동을 실시하였다. 손목의 굽힘(Flexion)과 펴기(Extension) 운동을 각각 6회씩 실시하였으며, 피험자에게 자발적으로 움직이지 않도록 주의를 주었다. 과거의 연구에서, 자발적 움직임은 평가변수의 신뢰성을 크게 제한하였으므로, 본 연구에서는 피험자가 운동의 타이밍을 예측할 수 없도록 운동속도 및 시점을 무작위로 실시하였다.

D. 분석방법

그림 3은 본 연구에서 개발된 측정시스템을 바탕으로 한 손목 관절 모델을 나타내고 있다.

손목 관절 모델로부터 운동방정식을 식 (1)과 같이 도출하였다. 운동방향 및 토크의 방향은 굽힘 방향을 양(positive)으로 하고, 펴기 방향을 음(negative)으로 하였다.

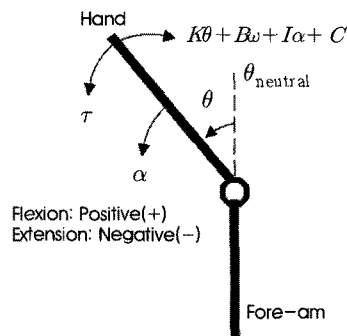


그림 3. 손목 관절 모델
 Fig. 3. Wrist joint model

$$\tau = K\theta + B\omega + I\alpha + C \quad (1)$$

로드셀에서 측정되어진 토크를 τ 라 하고, 가변저항으로부터 측정된 손목관절의 각도를 θ 라 하고, 수치미분을 통하여 각속도(ω)와 각가속도(α)를 구하였다. 탄성계수(K)와 점성계수(B), 상수(C)는 실험데이터를 이용하여 최소자승법(LSE)을 통하여 구하였다. 관성모멘트(moment of inertia: I)는 순간 놓음(Quick release) 방법[10]을 이용하여 각 피험자마다 미리 계산하여 구하였다.

최소자승법으로 구한 점성계수와 탄성계수 및 관성모멘트와 임상가가 채점한 경직 점수와의 상관관계를 알아보기 위해 SPSS16.0을 이용하여 스피어먼(Spearman) 순위상관분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

그림 4는 파킨슨병 환자의 경직 점수별로 손목관절 각도에 따른 토크의 변화를 나타낸 것이다. 실선은 실제 로드셀로부터 측정된 값이고 점선은 최소자승법으로 계산되어진 값을 나타내고 있다. 환자의 경직 점수가 높을수록 각도에 따른 힘의 히스테리시스루프가 커지는 경향을 볼 수 있다.

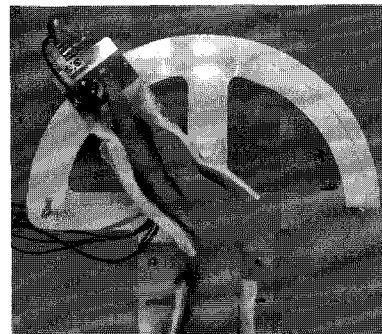
그림 5는 파킨슨병 환자의 경직 점수별 점성계수와 탄성계수, 관성모멘트를 나타낸 것이다.

환자의 경직 점수가 높을수록 점성계수와 탄성계수가 커지는 경향을 보이지만 관성모멘트는 경직점수에 의해 별다른 변화를 나타내지 않는다.

표 3은 통계분석 결과를 나타낸다. 통계분석결과 탄성계수와 점성계수는 경직 점수에 대해 각각 0.733, 0.905의 유의한 상관관계를 보였다.

하지만 관성은 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

본 연구 결과에서 점성계수는 탄성계수보다 더 높은 상관관계를 보였으며, 과거의 연구에서 제안된 분석변수의 상관관계($r=0.3\sim 0.86$)보다 높은 상관관계를 보였다.



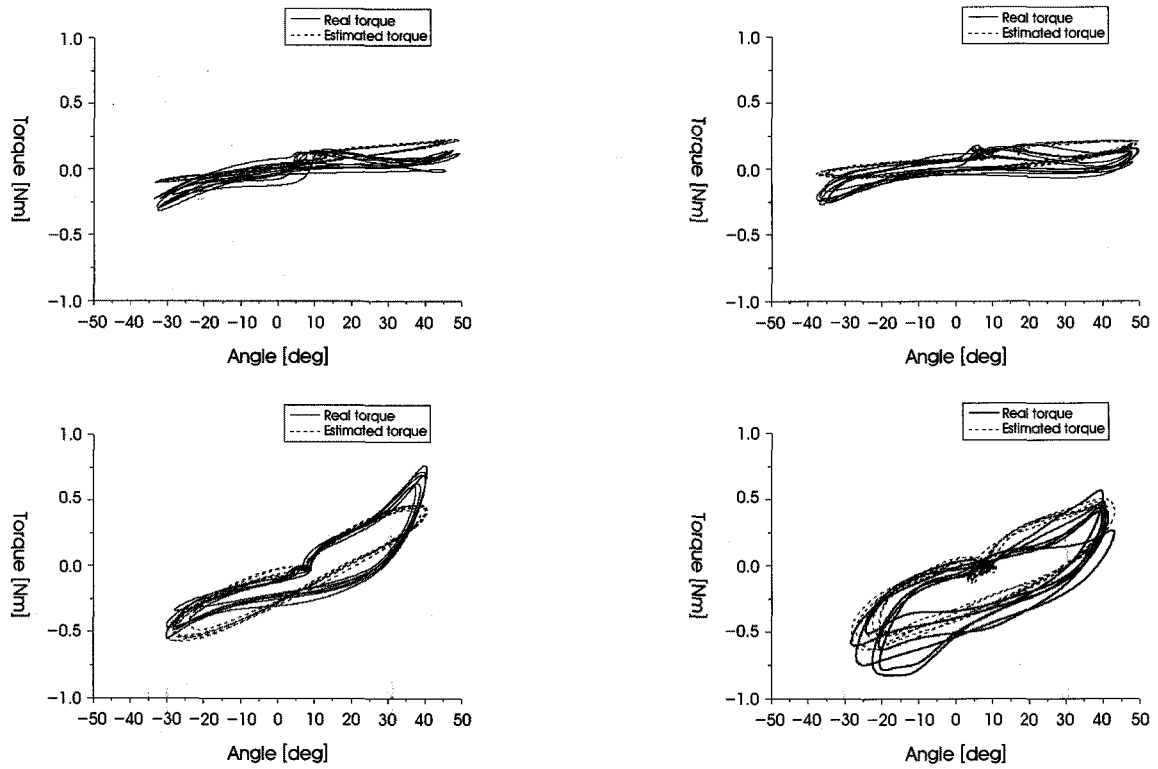


그림 4. UPDRS 경직 점수별로 나타낸 대표적인 토크-각도 그래프

Fig. 4. Representative plots of torque-angle relationships at wrist with each score of UPDRS rigidity. (a) rigidity score 0, (b) rigidity score 1, (c) rigidity score 2, (d) rigidity score 3

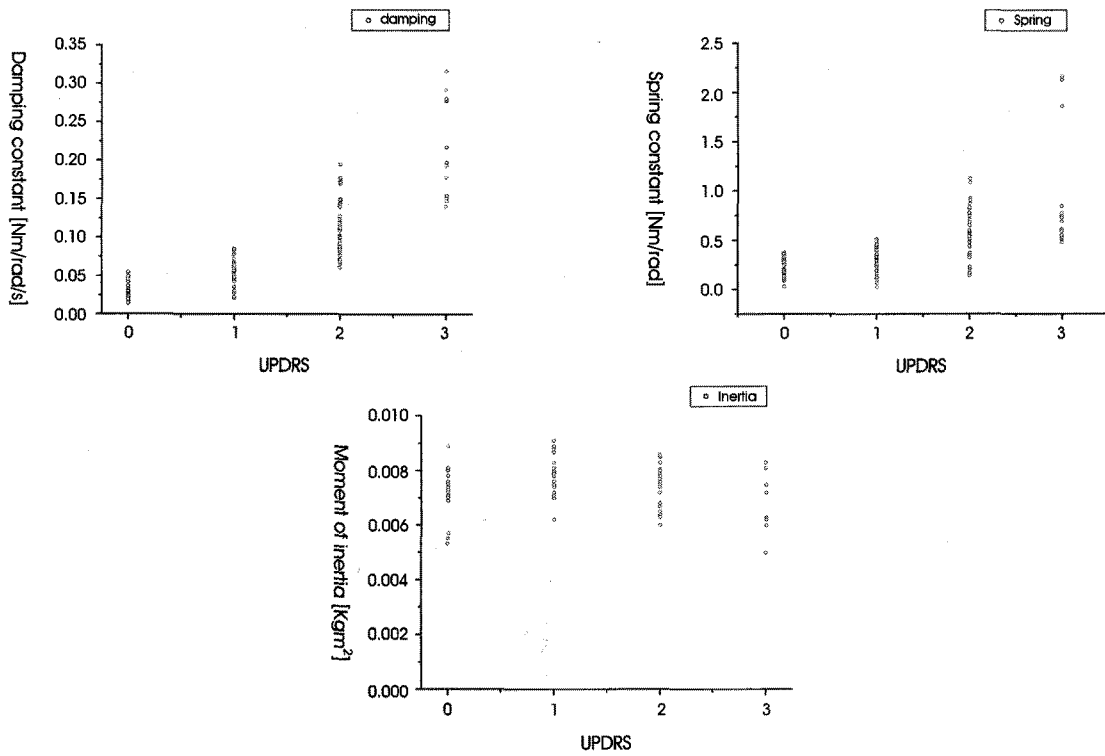


그림 5. 각 경직점수에 따른 점탄성계수와 관성모멘트

Fig. 5. Viscoelastic constants and moment of inertia for each rigidity score

표 3. Statistical analysis results

Table 3. 통계 분석결과

Performance indices	Spearman's correlation
	Rigidity score
Spring constant	0.733**
Damping constant	0.905**
Inertia constant	-0.093

note) +p<0.05, *p<0.01, **p<0.001

Fung 등의 연구에서는 임펄스와 일을 통해 경직을 평가하여, 두 가지 분석변수 모두 속도에 의존한다는 제한점이 있었다[8].

Sepehri 등은 스프링 상수와 일로 분리하여 각각 0.74, 0.86의 유의한 상관관계를 보였지만, 관성을 고려하지 않았고 측정치의 편차가 커서 통계적인 차이가 없었다[9]. 또한, Patrick 등은 기계적인 임피던스(mechanical impedance)를 측정하였지만 중력을 고려하지 않아 통계적인 차이가 없었다[11].

본 연구에서는 중력과 관성모멘트를 모두 고려하였고, 피험자의 자발적인 움직임의 최소화하였으며, 검사자가 인가하는 운동속도에 무관한 분석변수를 사용하여 운동속도의 실험내 및 실험간 변동에 의한 영향을 받지 않았다. 또한, 본 연구에서는 임상에서 경직을 주로 평가하는 관절부위인 손목의 경직을 측정하였고, 시스템이 크지 않고 조작성이 간단하다는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서 제안한 시스템은 임상에서 파킨슨병 환자의 경직을 평가하는데 있어서 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

IV. 결론

본 연구에서는 파킨슨병 환자의 경직을 정량화하기 위한 측정 시스템을 개발하고, 정량적 평가변수로서 점탄성특성을 제안하였다. 점탄성특성은 임상적 평가점수와 매우 높은 상관관계를 보였다. 본 연구의 측정시스템과 평가변수는 임상에서의 경직평가에 유용할 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] H. Braak, E. Ghebremedhin, U. Rub, H. Bratzke, and K. Del Tredici, "Stages in the development of Parkinson's disease-related pathology," *Cell Tissue Res*, vol. 318, no. 1, pp.121-134,

2004.
 [2] M.B. Stern, W.C. Koller, "Parkinson's disease," *Parkinsonian Syndromes*, New York: Marcel Dekker, 1993.
 [3] L.R. Van Dillen, and K.E. Roach, "Interrater reliability of a clinical scale of rigidity," *Phys Ther*, vol. 68, no. 11, pp. 1679-1681, 1988.
 [4] 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.
 [5] 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," *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, vol. 2007, pp.1354-1357, 2007.
 [6] M.K. Mak, E.C. Wong, and C.W. Hui-Chan, "Quantitative measurement of trunk rigidity in parkinsonian patients," *J Neurol*, vol. 254, no. 2, pp.202-209, 2007.
 [7] A. Prochazka, D.J. Bennett, M.J. Stephens, S.K. Patrick, R. Sears-Duru, T. Roberts, and J.H. Jhamandas, "Measurement of rigidity in Parkinson's disease," *Mov Disord*, vol. 12, no. 1, pp.24-32, 1997.
 [8] V.S. Fung, J.A. Burne, and J.G. Morris, "Objective quantification of resting and activated parkinsonian rigidity: a comparison of angular impulse and work scores," *Mov Disord*, vol. 15, no. 1, pp.48-55, 2000.
 [9] B. Sepehri, A. Esteki, E. Ebrahimi-Takamjani, G.A. Shahidi, F. Khamseh, and M. Moinodin, "Quantification of rigidity in Parkinson's disease," *Ann Biomed Eng*, vol. 35, no. 12, pp. 2196-2203, 2007.
 [10] D.A. Winter, *Biomechanics and motor control of human movement*, New York: John Wiley & Sons Inc, Third Edition, pp.75-76.
 [11] S.K. Patrick, A.A. Denington, M.J. Gauthier, D.M. Gillard, A. Prochazka, "Quantification of the UPDRS Rigidity Scale," *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.*, vol. 9, no. 1, pp.31-41, 2001.