Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 25, No. 2 pp.155-159, May 2006

손가락 힘 통제 특성에 기반한 운동의지장애의 정량적 평가 방법 개발*

정기효[1] · 이민정[1] · 서상원[2] · 이병화[2] · 김은주[2] · 유희천[1] · 나덕렬[2]

[1]포항공과대학교 기계산업공학부 / [2]성균관의대 삼성서울병원 신경과

Development of a Quantitative Assessment Method of Finger Force Control Capabilities for Motor Intentional Disorders

Kihyo Jung[1], Minjeong Lee[1], Sangwon Seo[2], Byunghwa Lee[2],
Eunjoo Kim[2], Heecheon You[1], Duklyul Na[2]

[1]Division of Mechanical and Industrial Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Kyungbuk, 790-784
[2]Department of Neurology, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, 135-710

ABSTRACT

Motor intentional disorders have been studied by visual examination methods such as cross-response task and Luria loop. To provide more analytical, quantitative information for motor intentional disorders, the present study developed a method which evaluates force control capabilities by the index finger. The assessment method analyzes the finger force control capabilities at four stages(initiation, development, maintenance, and termination) with NK Pinch-Grip^{TM}(force resolution = 0.098 N; temporal resolution = 50Hz). By applying the assessment method, a patient(age = 66) with callosal legion was compared with 6 healthy males(mean age = 65.5, SD = 2.8), showing significant but different decreases in force control capabilities depending on hand and response location. The assessment method would be of use to better understand various aspects of motor intentional disorders such as the effects of the disorders to the neurological network of the brain and severity assessment of the disorders.

Keyword: Force control capabilities, Motor intentional disorders, Assessment method

1. 서 론

운동의지장애(motor intentional disorders)는 기본적인 운동기능에 장애가 없음에도 불구하고 전두엽(frontal lobe)의 손상으로 인해 운동의지가 결여되어 신체를 움직이지 않으려 하는 질환이다. 장애의 기전은 전두엽 부위의 손상에 기인하며, 좌반구 보다는 우반구 손상 환자에서 주로 나타나는 것으로 보고되고 있다(Coslett and Heilman, 1989; Kertesz et al., 1985).

운동의지장애는 운동국면(시작, 발전, 유지, 종결; 그림 1 참조) 중에서 어느 부분에 장애가 나타나는 가에 따라 세 가지 유형(운동결여증, 운동지속불능증, 운동보속증)으로 구분된다. 운동결여증(hypokinesia)은 신체 동작의 시작이 지연

*이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2004-042-H00038).
교신저자: 유희천
주 소: 790-784 경북 포항시 남구 효자동 산31, 전화: 054-279-2210, E-mail: hcyou@postech.ac.kr

되는 장애이고, 운동지속불능증(motor impersistence)은 신체 동작의 유지를 어려워하는 장애이며, 운동보속증(motor perseveration)은 운동을 종결하는 시간이 지연되는 장애이다(Heilman, 2004).

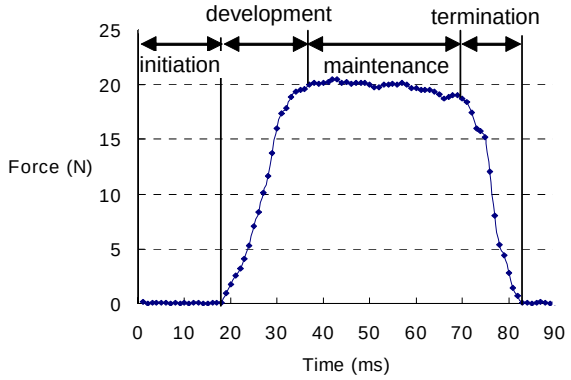


그림 1. 네 가지 운동국면

운동의지장애는 임상가의 환자 행동관찰을 통해 장애의 유무만이 평가되고 있는 실정이어서 장애의 심각성 정도를 평가하기 위한 정량적 평가 방법이 요구된다. 운동결여증은 오른손에 자극을 주면 왼손을 들어올리는 cross response task 기법을 적용하여 평가되며, 운동지속불능증은 20초간 환자의 눈을 감게 하여 지속할 수 있는지 여부를 검사하여 평가된다(Heilman, 2004). 이러한 평가 기법들은 장애의 유무 파악에 유용하나, 장애의 심각성 평가에 적용은 어려운 실정이다.

본 연구는 운동국면 별 손가락 힘 통제 특성을 측정하여 운동의지장애를 정량적으로 평가하는 방법을 제안하였다. 이를 위해, 손 힘 통제 특성을 측정하는 시스템을 구성하고, 네 가지 운동국면에 대한 실험 방법과 평가 척도를 개발하였다. 본 연구의 평가 방법은 뇌 교량(corpus callosum) 손상 환자의 운동의지장애 특성 평가에 적용되어 개발된 방법의 유용성이 분석되었다.

2. 운동의지장애 평가 방법

2.1 힘 통제 특성 측정 시스템

손의 반응시간과 발휘되는 힘을 측정하기 위해 손가락 힘 측정장비인 NK Pinch-Grip™을 포함한 측정 시스템이 구성되었다(그림 2 참조). NK Pinch-Grip(정밀도 = 0.098N, sampling rate = 32Hz)은 몸의 중심으로부터 좌측 혹은 우측으로 20cm 떨어져 있고, 중앙흉골(mid-sternum)로부터 30cm 떨어진 거리에 위치한다. 그리고, 피실험자의 눈으로부터 70cm 떨어진 곳에 위치한 스크린을 통해 실험 진행과 관련된 정보(그림 3 참조)가 제공된다.

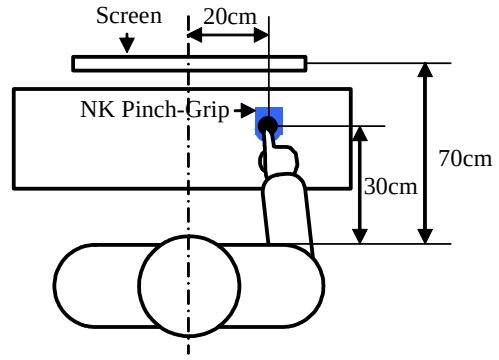
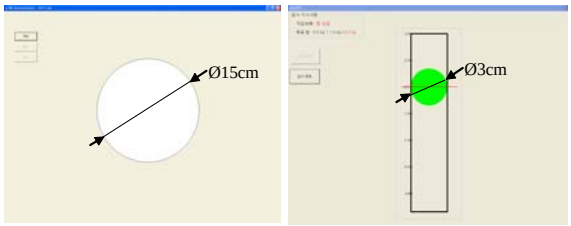


그림 2. 손가락 힘 통제 특성을 측정하는 시스템의 구성

2.2 평가 작업 및 평가 척도

2.2.1 힘 발휘 시작

힘 발휘 시작에 대한 운동의지장애는 스크린에 신호 출현부터 피실험자가 NK Pinch-Grip을 누르는데 걸리는 반응시간으로 측정된다. 힘 발휘 시작은 피실험자가 검지손가락을 NK Pinch-Grip 위에 약 1cm 이내로 위치하고 있다가 신호가 제시되면 최단 시간 내에 NK Pinch-Grip 버튼을 누르는 작업이다. 힘 발휘 시작 신호는 그림 3.a와 같이 스크린을 통해 흰색에서 빨간색으로 변하는 원(지름 15cm)으로 제공되며, 변경시간 간격은 2~5초 중에서 무작위로 설정된다.



(a) 힘 발휘 시작 및 종결 (b) 힘 발전 및 유지

그림 3. 힘 통제 측정 시스템의 운동국면 별 실험 스크린

2.2.2 힘 발전

힘 발전에 대한 장애는 최단 시간 내에 목표한 힘에 도달하는 힘 도달작업을 통해 도달시간과 힘 증가분 표준편차로 측정된다. 스크린에 표시된 흰색 공(지름 3cm)은 NK Pinch-Grip에 가해지는 힘의 크기에 비례하여 수직으로 상

승하며, 목표 힘 수준(빨간색 선으로 표시; 그림 3.b 참조)에 도달하면 공의 색깔은 녹색으로 변한다. 도달시간은 목표한 힘 수준에 도달할 때까지 소요된 시간으로 정의되고, 힘 증가분 표준편차는 힘 발휘 증가분에 대한 표준편차(SD_{FI})로 정의되어 값이 작을수록 선형적 힘 증가 유형을 나타내며, 값이 클수록 지수적 힘 증가를 나타낸다(그림 4 참조).

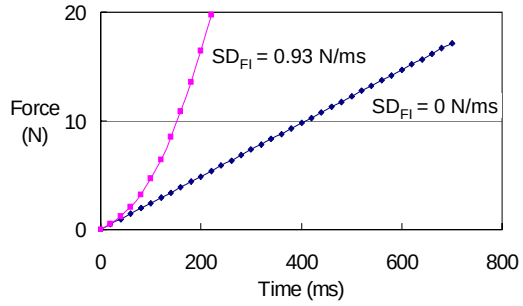


그림 4. 힘 발휘 유형에 따른 힘 증가분 표준편차(SD_{FI})

2.2.3 힘 유지

힘 유지에 대한 장애는 일정 수준의 힘을 일정시간 동안 지속적으로 가하는 힘 유지작업을 통해 힘 유지의 오차와 표준편차로 분석된다. 피실험자는 NK Pinch-Grip에 힘을 가하여 지정된 힘 수준에 도달한 상태(녹색 공 상태; 그림 3.b 참조)에서 일정시간 동안 힘을 유지하게 된다. 오차는 실험에서 유지해야 할 목표 힘에서 벗어난 정도(그림 5 참조)로 정의되었으며, 음의 오차는 목표한 힘 보다 낮은 힘을 발휘하고 있음을 의미하고 양의 오차는 목표 힘 보다 큰 힘을 발휘하고 있음을 나타낸다. 표준편차는 피실험자가 유지하고 있는 힘의 변동(그림 5 참조)을 나타내는 척도로서 표준편차가 작을수록 힘을 균일하게 유지함을 나타낸다.

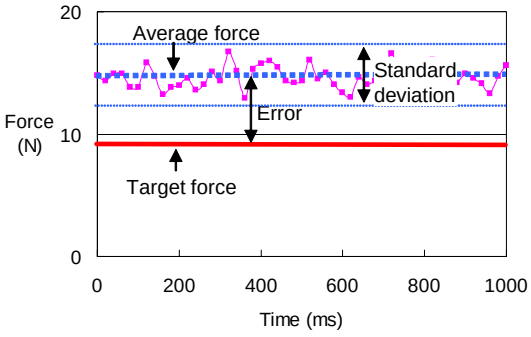


그림 5. 힘 유지작업의 오차 및 표준편차

2.2.4 힘 종결

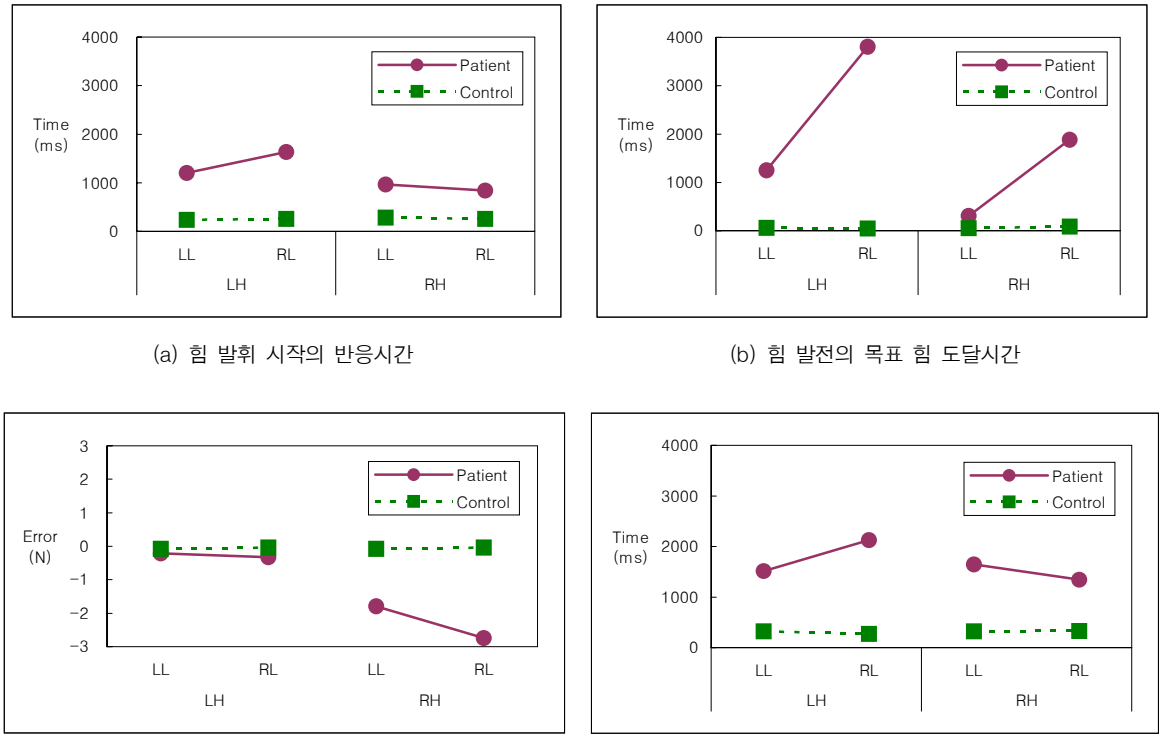
힘 종결에 대한 장애는 NK Pinch-Grip을 누르고 있다가 신호가 제공되면 버튼에서 손을 떼는 힘 종결작업을 통해 종결 반응시간으로 분석된다. 힘 종결 신호는 힘 발휘작업과 동일하게(그림 3.a 참조) 스크린을 통해 흰색 공이 빨간색 공으로 변하여 제공되며, 반응시간은 신호 출현부터 버튼에서 손을 떼는데 소요된 시간으로 정의된다.

3. 적용 사례: 뇌 교량 손상 환자 평가

본 연구에서 개발된 평가 방법을 뇌 교량 환자 1명(66세 남성)과 정상인 6명(60대 남성)에 적용하여 운동능력을 비교 평가하였다. 실험은 two-factor within-subject design (손: 왼손과 오른손; 공간: 왼쪽과 오른쪽)으로 설계되었고, 힘 도달작업의 목표 힘과 힘 유지 작업의 유지시간은 다양한 수준(힘 도달: 4.9, 9.8, 19.6N; 유지시간: 5, 10, 15초)에 대한 예비 실험을 통해 뇌 교량 환자의 실험 수행 가능여부와 운동능력 평가의 민감도를 고려하여 9.8N과 10초로 각각 설정되었다. 본 실험은 충분한 연습시행을 수행한 후 무작위 순으로 모든 실험조건에 대해 환자는 6회, 정상인은 2회 반복하여 실시되었다(예비 실험에서 정상인은 반복성이 우수하여 상대적으로 반복횟수가 작음). 마지막으로, 본 연구는 신뢰 수준 95%를 벗어나는 데이터를 이상치로 정의(Barnett and Lewis, 1994)하여 환자와 정상인에서 각각 6개(5%)와 12개(4%)의 데이터를 제거하였다.

뇌 교량 손상 환자에 본 연구의 평가 방법을 적용한 결과, 환자는 정상인 대비 힘 통제 능력이 유의하게 저하되는 것으로 파악되었다. 정상인 대비 환자의 힘 발휘 시작 반응시간은 4.6배(표준편차 4.2배), 도달시간은 28.4배(표준편차 20.3배), 힘 증가분 표준편차는 0.3배(표준편차 0.3배), 유지오차는 16.7배(표준편차 9.7배), 유지 표준편차는 6.9배(표준편차 9.5배), 힘 종결 반응시간은 5.3배(표준편차 4.5배)로 나타나 힘 통제 능력의 저하가 현저한 것으로 분석되었다(그림 6 참조).

손(왼손과 오른손)과 공간위치(좌측과 우측)를 독립변수로 분산분석을 실시한 결과, 환자는 뇌 교량의 손상으로 인해 힘 발휘 시작과 종결작업에서 동일하게 왼손-우측공간과 오른손-좌측공간에서 힘 통제 능력이 유의하게(α=0.05) 낮음이 파악되었다(그림 6.a와 6.d 참조). Simple effect 분석 결과, 힘 발휘 시작에서 왼손-우측(1634ms)과 오른손-좌측(963ms)의 반응시간이 왼손-좌측(1200ms)과 오른손-우측(844ms)보다 크게 분석되었으며($F(1, 18)=4.70$, $p=0.044$), 힘 종결작업에서도 왼손-우측(2125ms)과 오른손-좌측(1644ms)의 반응시간이 왼손-좌측(1513ms)과 오른손-우측(1344ms)보다 크게 분석되어($F(1,$



(a) 힘 발휘 시작의 반응시간

(b) 힘 발전의 목표 힘 도달시간

(c) 힘 유지의 오차

(d) 힘 종결의 반응시간

그림 6. 뇌 교량 손상 환자와 정상인(6명)에 대한 힘 통제 특성(LL: left location, RL: right location, LH: left hand, RH: right hand)

17)=6.07, p=0.03) 손과 공간의 비대칭효과가 존재하는 것으로 분석되었다.

또한, 힘 발전과 유지작업에 대한 분산분석 결과, 힘 발전에서는 왼손의 힘 통제 능력이 오른손보다 낮게 나타난 반면, 힘 유지에서는 오른손이 왼손보다 유의하게 낮게 나타나 상충되는 결과를 보였다(그림 6.b와 6.c 참조). 힘 발전의 도달시간(F(1, 16)=9.23, p=0.008)과 힘 증가분 표준편차(F(1, 16)=11.73, p=0.004)는 왼손(도달시간=2528ms, 힘 증가분 표준편차=0.49N/ms)에서 오른손(도달시간=1092ms, 증가분 표준편차=1.0N/ms)보다 유의하게 능력이 저하되는 것으로 나타났고, 힘 유지의 오차(F(1, 20)=120.21, p<0.001)와 표준편차(F(1, 20)=43.31, p<0.001)는 오른손(오차=−2.26N, 표준편차=2.56N)에서 왼손(오차=−0.26N, 표준편차=0.85N) 보다 크게 저하됨이 파악되었다.

4. 토 의

본 연구는 손 힘과 반응시간을 측정하여 운동국면 별 운동의지장애를 정량적으로 평가하는 방법을 개발하였다. 본 연구의 평가 방법은 운동의 네 가지 국면(시작, 발전, 유지 및 종결)에 대한 힘 통제 특성을 정량적으로 평가할 수 있어 운동의지장애의 특성 평가에 적용될 수 있다. 또한, 본 연구의 평가 방법은 뇌 병변의 부위와 크기에 따른 손(왼손과 오른손)과 공간위치(왼쪽과 오른쪽)의 효과를 분석할 수 있어 뇌의 신경회로망 특성 분석에 적용될 수 있으며, 운동의지장애 평가시 임상가의 행동관찰 방법과 병행되어 장애 진단에 유용한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

운동의지장애 환자의 힘 통제 특성을 평가하기 위해 정상인의 힘 통제 특성에 대한 표준 database 구축이 필요하다. 운동의지장애 환자의 힘 통제 특성은 정상인의 표준 힘 통제 특성과 비교 평가되어야 하나, 현재까지는 정상인의 손가락 힘 통제 특성에 대한 표준 자료가 부족한 실정이다. 본 연구는 뇌 교량 손상 환자와 성별 및 연령이 유사한 정상인 60대 남자 6명을 대상으로 힘 통제 특성을 측정하여 평가에 적용하였으나, 향후 정상인에 대한 힘 통제 특성 표준 data-base 구축이 필요하다.

참고 문헌

Barnett, V. and Lewis, T., *Outliers in Statistical Data*, Wiley & Sons, New York. 1994.

Coslett, H. B. and Heilman K. M., Hemihypokinesia after right hemisphere stroke. *Brain and Cognition*, 9(2), 267-278, 2004.

Heilman K. M., Intentional neglect. *Frontiers in Bioscience*, 9, 694-705, 2004.

Kertesz, A., Nicholson, I., Cancelliere, A., Kassa, K. and Black, S. E. Motor impersistence: a right-hemisphere syndrome. *Neurology*, 35(5), 662 -666, 1985.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 정 기 효 ❖ khjung@postech.ac.kr
포항공과대학교 산업공학 석사
현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 박사과정
관심분야: 인체공학적 제품설계, 산업인간공학, 제품설계

❖ 이 민 정 ❖ saturn04@postech.ac.kr
포항공과대학교 산업공학 석사
현 재: LG 전자 단말연구소 연구원
관심분야: Haptic interface, 제품설계

❖ 서 상 원 ❖ sangwonseo@empal.com
연세대학교 의과대학 의학 석사
현 재: 삼성서울병원 임상강사
관심분야: 인지과학, 치매

❖ 이 병 화 ❖ cadasil@hanmail.net
성균관대학교 심리학 석사
현 재: 삼성서울병원 신경과 연구원
성균관대학교 심리학과 박사과정
관심분야: 인지심리, 신경심리

❖ 김 은 주 ❖ byuryhan@hanmail.net
부산대학교 의과대학 의학 박사
현 재: 삼성서울병원 신경과 행동신경학 전임의
관심분야: 행동신경학, 치매

❖ 유 희 천 ❖ hcyou@postech.ac.kr
미국 펜실바니아 주립대학교 산업공학 박사
현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 조교수
관심분야: 인간친화형 혁신 제품개발, 사용자-제품 interface의 인간공학적 설계, Digital human model을 이용한 설계 및 평가, 작업관련성 근골격계질환 예방

❖ 나 덕 렬 ❖ dukna@smc.samsung.co.kr
고려대학교 의과대학 신경과학 박사
현 재: 성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 신경과학교실 교수
관심분야: 행동신경학, 인지신경과학, 치매

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2006년 03월 03일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2006년 05월 04일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2006년 05월 08일