

운동의지장애 환자의 조기 선별을 위한 정상인의 손가락 힘 특성 분석

Analysis of Finger Force Control Capabilities for Early Detection of Motor Intentional Disorders (MIDs) Patients

박현지¹, 이백희¹, 정기효², 이병화³, 나덕렬³, 유희천¹

¹포항공과대학교 산업경영공학과

²울산대학교 산업경영공학부

³성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 신경과

Abstract

운동의지장애(motor intentional disorders, MIDs)는 뇌 손상으로 인해 신체를 움직이려는 의지가 저하되는 장애이다. 뇌 손상 유무 및 정도의 평가는 현재 임상가의 간단한 행동관찰(visual examination)을 통하여 수행되고 있으나, 뇌 손상 정도를 보다 체계적이고 정량적으로 평가할 수 있는 시스템의 개발이 필요하다. 본 연구는 손가락 힘 측정을 통해 네 가지 국면(시작, 도달, 유지, 종결) 별로 힘 특성을 평가할 수 있는 시스템을 개발하였다. 본 연구는 정상인 360명(20 ~ 70대 남녀 각 30명)을 대상으로 정상인 손가락 힘 특성에 대한 연령대, 성별, 손 위치, 그리고 공간 위치 효과를 분석하고 기준을 수립하였다. 본 연구에서 구축된 정상인 힘 특성 기준은 추후 운동의지장애 유무 및 정도를 정량적으로 평가하는데 활용되어 뇌 손상 환자의 조기 선별에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Keywords: Motor intentional disorders, Finger force, Normative database, Quantitative system

1. 서론

운동의지장애(motor intentional disorders, MIDs)는 뇌 손상 등으로 인해 신체를 움직이려는 의지가 저하되는 장애이다. 전두엽 내 운동전영역(premotor region)이 손상되면 주로 운동의지가 저하될 수 있으며, 운동의지장애는 우반구 손상환자에서 주로 나타나는 것으로 보고되고 있다(Coslett and Heilman, 1989; Kertesz et al., 1985).

운동의지장애는 힘의 네 가지 운동 국면(시작, 도달, 유지, 종결)에 따라 세 가지 유형(운동저하증, hypokinesia; 운동지속불능증, motor impersistence; 운동보속증, motor perseveration)으로 분류된다(그림 1 참조). 운동저하증은 동작의 시작이 지연되는 장애를, 운동지속불능증은 동작의 지속에 문제가 있는 장애를, 그리고 운동보속증은 자극이 사라져도 현재 상태를 계속 유지해 동작의 종결이 지연되는 장애를 일컫는다(Heilman, 2004).

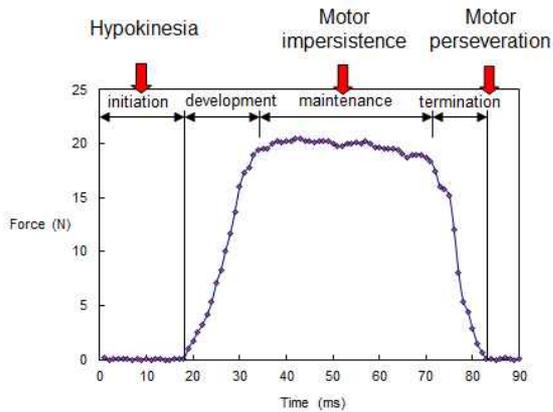


그림 1. 네 가지 운동 국면 및 장애 유형

기존 운동의지장애를 평가하는 방법은 잘 알려져 있지 않아 주로 임상가에 의한 환자의 행동 관찰을 통한 판단으로 진단되고 있어, 뇌 손상 정도를 보다 정량적으로 평가할 수 있는 시스템 개발이 요구된다. 운동저하증은 눈을 감은 상태에서 한 손에 자극을 주면 반대 손을 들어 올릴 수 있는지의 여부(crossed response inhibition(CRI) task 기법)를, 운동지속 불능증은 20 초 간 눈 감은 상태를 유지할 수 있는지의 여부를, 그리고 운동보속증은 제시되는 그림에 대한 Luria loop를 그리게 한 후 동작을 정지시켰을 때 중복 여부를 통해 평가된다(Crucian et al., 2007; Heilman, 2004). 기존 평가 방법들은 장애의 유무 정도만 파악할 수 있어, 장애 정도의 심각성을 보다 체계적이고 과학적으로 평가하는 시스템이 필요하다.

본 연구는 네 가지 운동 국면 별 손가락 힘 특성을 측정하고 정량적으로 평가할 수 있는 시스템을 개발한다. 본 연구는 정상인 360명(20 ~ 70 대 남녀 각 30 명)을 대상으로 정상인 손가락 힘 특성에 대한 연령대, 성별, 손 위치, 그리고 공간 위치 효과를 분석하고 정상인 힘 특성 기준을 수립한다.

2. 정상인 힘 특성 기준 수립

2.1 실험참여자

본 연구는 표 1과 같이 운동의지장애가 없는 정상인 333명(47.0 ± 18.9세)을 대상으로 실험을 수행하였다.

2.2 실험장비

본 연구는 힘 사용 단계에 따른 네 가지 운동 국면(시작, 도달, 유지, 종결) 별 손가락 힘을 측정하기 위해 그림 2.(a) 와 같은 Finger Touch (FT; precision = 0.196 N, sampling rate = 30 ~ 32 Hz; SeedTech Co., South Korea) 장비를 개발하였다.

본 연구는 네 가지 운동 국면 별 손가락 힘 특성을 정량적으로 평가할 수 있는 S/W(그림 3 참조)를 개발하였다. 첫째, 시작 국면은 피실험자가 센서 위에 1 cm 이내로 검지손가락을 위치하고 있다가, 스크린 중앙의 원에 2 ~ 5 초 중 무작위로 나타나는 빨간 신호에 대해 최단 반응 시간을 측정하여 평가된다. 둘째, 도달 국면은 피실험자의 검지손가락 힘을

표 1. 실험참여자

| 성별 \ 연령대 | 연령대 | | | | | | 총 계 |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 20대 | 30대 | 40대 | 50대 | 60대 | 70대 | |
| 남성 | 30 | 26 | 23 | 23 | 26 | 25 | 153 |
| 여성 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 180 |
| 총 계 | 60 | 56 | 53 | 53 | 56 | 55 | 333 |

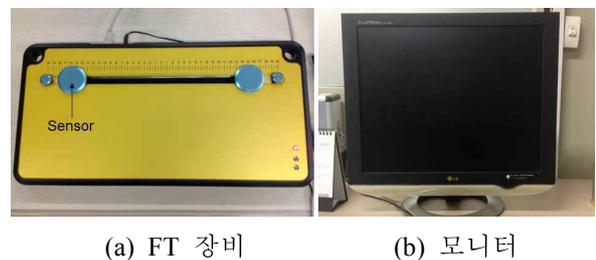


그림 2. 실험 장비

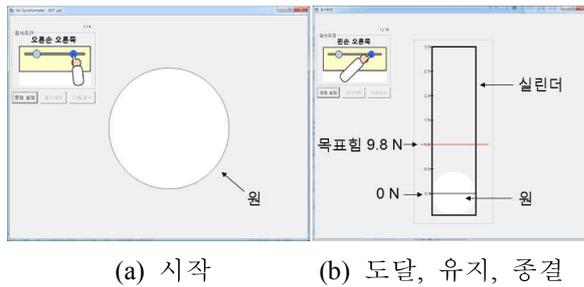


그림 3. 국면 별 손가락 힘 평가 S/W 화면

증가시켜 스크린 중앙 실린더 내부의 흰색 원이 빨간 선에 도달하는데 걸리는 시간으로 평가된다. 셋째, 유지 국면은 흰색 원을 목표 힘(9.8 N)에서 10 초 간 최대한 유지할 때의 식 1과 같은 유지 오차로 평가된다. 넷째, 종결 국면은 피실험자가 목표 힘을 유지하다가 흰색 공이 빨간 색으로 변할 때 신속하게 반응하여 손가락을 떼는 데 소요되는 시간으로 평가된다.

$$\text{유지 오차(N)} = \frac{\sum_{t=0}^{10000} |f_t - 9.8|}{10000} \quad (\text{식 1})$$

where, f_t = 시간 t 에서의 손가락 힘(N)

본 연구의 손가락 힘 특성 평가에는 그림 2.(b)와 같은 19인치 모니터(FLATRON L1940P, LG Electronics Co., South Korea)를 사용하였다.

2.3 실험 환경

본 연구는 FT sensor를 몸의 중심으로부터 좌측과 우측으로 15 cm, 중앙흉골(midsternum)로부터 50 cm 거리에 위치하도록 통제하였다(그림 4 참조). 또한, 본 연구는 실험참여자의 눈으로부터 70 cm 떨어진 곳에 위치한 스크린을 통해 실험 S/W를 제시하였다.

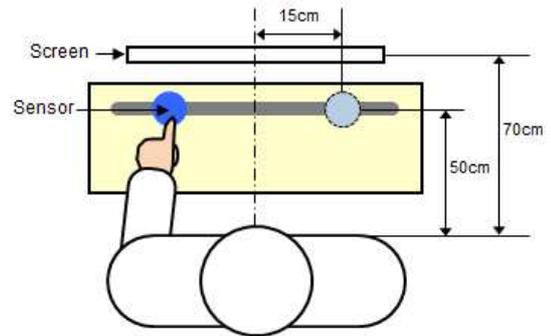


그림 4. 실험 환경

2.4 실험 절차

본 실험은 네 단계의 실험 절차(S1. preparation, S2. practice, S3. main experiment, S4. debriefing)를 통해 수행되었다. 첫 번째 단계에서는 실험참여자에게 실험 절차에 대해 간단하게 설명해주고 실험 참여 동의를 받았다. 두 번째 단계에서는 실험참여자가 실험 방법에 익숙해지도록 국면 별 4회씩의 연습을 실시하였다. 세 번째 단계에서는 무작위로 제시되는 손 위치와 공간 위치(예: 오른손 왼쪽) 별 4회씩 반복 시행하여 각 국면 별 본 실험을 수행하였다. 마지막 단계에서는 측정된 데이터를 확인하고, 실험참여비를 지급하였다.

2.5 분석 방법

본 연구는 four-factor mixed-subjects ANOVA를 수행하여 시작 시간(msec), 도달 시간(msec), 유지 오차(mN), 종결 시간(msec)에 대한 연령대(20 ~ 70대), 성별(남, 여), 손 위치(좌, 우), 그리고 공간 위치(좌, 우) 효과를 분석하였다. 분석 결과, 유의한 효과에 대한 사후 검정으로는 Student-Newman-Keul (SNK) test를 수행하였다. 또한, 본 연구는 각 실험참여자가 2SD를 벗어나는 데이터를 이상치로 간주(Barnett and Lewis, 1994)하였고, ANOVA 수행 시 3인자 이상 교호 작용은 무시하였다.

3. 결과

3.1 시작 국면

정상인의 힘 시작에 대한 반응 시간의 경우, 연령대와 성별 효과가 유의한 것으로 분석되었다(표 2 참조). 반응 시간은 연령대가 높아짐에 따라 느려지는 것으로 나타났고, 사후 검정 결과, 70대(308.1 ± 61.9 msec)는 20 ~ 40대(249.4 ± 59.4 msec)에 비해 58.7 msec 만큼 반응 시간이 느린 것으로 파악되었다. 또한, 여성(264.0 ± 64.0 msec)은 남성(275.5 ± 63.3 msec)에 비해 11.5 msec 만큼 유의하게 반응 시간이 빠른 것으로 나타났다.

3.2 도달 국면

정상인의 도달 시간의 경우, 연령대와 손 위치에 대한 효과가 유의한 것으로 분석되었다(표 2 참조). 사후 검정 결과, 70대(142.6 ± 60.3 msec)는 20 ~ 60대(122.0 ± 53.4 msec)에 비해 20.6 msec 만큼 도달 시간이 느린 것으로 파악되었고 오른손(123.5 ± 55.8 msec)은 왼손(127.3 ± 54.3 msec)보다 3.8 msec 만큼 도달 시간이 빠른 것으로 분석되었다.

3.3 유지 국면

정상인의 유지 오차의 경우, 연령대, 성별, 손 위치, 그리고 공간 위치 효과가 모두 유의한 것으로 나타났다(표 2 참조). 사후 검정 결과, 70대(488.8 ± 314.8 mN)는 20 ~ 50대(227.2 ± 96.4 mN)의 성인에 비해 261.6 mN 만큼 목표 힘 대비 유지를 못하는 것으로 나타났고, 남성(241.6 ± 127.3 mN)이 여성(324.8 ± 226.1 mN)보다 83.2 mN 만큼 유의하게 유지를 잘 하는 것으로 파악되었다. 또한, 오른손(280.3 ± 195.6 mN)은 왼손(292.6 ± 187.4 mN)보다 12.3 mN 만큼, 좌측 공간(276.1 ± 182.4 mN)에서는 우측 공간(296.8 ± 200.0 mN)에서

표 2. 운동 국면 별 정상인 힘 특성 ANOVA 결과

| | 시작 | 도달 | 유지 | 종결 |
|---------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Age group (A) | $F(5, 319) = 16.22, p < 0.001$ | $F(5, 321) = 3.03, p = 0.011$ | $F(5, 320) = 40.89, p < 0.001$ | $F(5, 296) = 22.27, p < 0.001$ |
| Gender (G) | $F(1, 319) = 6.87, p = 0.010$ | $F(1, 321) = 3.80, p = 0.052$ | $F(1, 320) = 38.55, p < 0.001$ | $F(1, 296) = 0.67, p = 0.415$ |
| Hand (H) | $F(1, 324) = 0.00, p = 0.971$ | $F(1, 326) = 10.24, p = 0.002$ | $F(1, 325) = 5.58, p = 0.019$ | $F(1, 301) = 5.29, p = 0.022$ |
| Location (L) | $F(1, 324) = 0.07, p = 0.790$ | $F(1, 326) = 0.36, p = 0.549$ | $F(1, 325) = 46.74, p < 0.001$ | $F(1, 301) = 0.96, p = 0.329$ |
| A × H | $F(5, 324) = 0.92, p = 0.471$ | $F(5, 326) = 0.84, p < 0.524$ | $F(5, 325) = 2.08, p = 0.068$ | $F(5, 301) = 0.81, p = 0.543$ |
| G × H | $F(1, 324) = 0.63, p = 0.427$ | $F(1, 326) = 0.00, p = 0.968$ | $F(1, 325) = 0.74, p = 0.391$ | $F(1, 301) = 0.12, p = 0.734$ |
| A × L | $F(5, 324) = 0.95, p = 0.450$ | $F(5, 326) = 3.36, p < 0.006$ | $F(5, 325) = 9.60, p < 0.001$ | $F(5, 301) = 0.57, p = 0.719$ |
| G × L | $F(1, 324) = 0.04, p = 0.837$ | $F(1, 326) = 1.05, p = 0.306$ | $F(1, 325) = 1.96, p = 0.162$ | $F(1, 301) = 1.40, p = 0.237$ |
| H × L | $F(1, 328) = 0.17, p = 0.679$ | $F(1, 329) = 0.20, p = 0.659$ | $F(1, 330) = 0.93, p = 0.335$ | $F(1, 307) = 1.77, p = 0.185$ |

※ shaded area: significant at $\alpha = 0.05$

보다 20.7 mN 만큼 유지를 잘 하는 것으로 분석되었다.

3.4 종결 국면

정상인의 힘 종결에 대한 반응 시간은 연령대와 손 위치 효과가 유의한 것으로 분석되었다(표 2 참조). 60 ~ 70대(414.9 ± 83.0 msec)는 20 ~ 30대(324.3 ± 102.4 msec)보다 90.6 msec 만큼 반응 시간이 느린 것으로 나타났고, 오른손(368.5 ± 94.4 msec)은 왼손(373.7 ± 100.3 msec)보다 5.2 msec 만큼 종결 반응 시간이 빠른 것으로 분석되었다.

4. 토의

본 연구는 네 가지 운동 국면(시작, 도달, 유지, 종결) 별 손가락 힘 특성을 측정하여 정량적으로 운동의지장애를 평가할 수 있는 방법을 개발하고, 뇌 손상 환자와의 비교 평가를 위한 정상인 힘 특성 기준을 수립하였다. 정상인 힘 특성 기준은 임상가의 환자 행동 관찰로 평가되던 기존 정성적 운동의지장애 평가 방법의 한계점을 보완하여 뇌 손상 환자의 조기 선별에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 운동 능력 표준을 구축하기 위한 실험을 수행하고 힘 특성에 대한 연령대(20 ~ 70대), 성별(남, 여), 손 위치(좌, 우), 그리고 공간 위치(좌, 우)가 미치는 효과를 분석하였다. 정상인은 모든 국면에서 60 ~ 70대의 고연령일수록 반응 시간이 느리고 유지를 잘 못하는 것으로 분석되었다. 예를 들면, 70대 정상인은 20 ~ 50대에 비해 2.2배 정도 유지를 못하는 것으로 파악되었다. 또한, 정상인은 각 국면 별 손 위치, 그리고 공간 위치에 따른 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었으나, 차이가 미미(시작, 도달, 종결국면의 반응시간 < 11.5 msec; 유지국면 < 20.7 mN)하여 특별한 경향성을 없는 것으로 파악되었다.

본 연구의 정상인을 대상으로 진행한 실험 결과와 뇌졸중(stroke) 환자, 혈관성 치매(subcortical vascular dementia, SVaD) 환자의 운동 국면 별 손가락 힘 특성(Seo et al., 2009; Yoon et al., 2012)을 비교해본 결과, 각 국면 별 힘 특성은 정상인과 stroke 환자의 경우 1.5 ~ 11.3배, SVaD 환자의 경우 1.6 ~ 3.5배의 차이를 보였다. 따라서, 본 연구의 정상인 힘 특성 기준은 추후 정상인과 구별되는 뇌 손상 환자의 특성과 비교하여 운동의지장애 유무 및 정도를 정량적으로 평가하는데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구의 추후 연구로는 뇌 손상 부위에 따른 환자의 힘 특성 측정 및 분석을 통하여 운동의지장애의 유무 및 정도를 판별할 수 있는 모형 개발이 수행될 예정이다.

Acknowledgements

This work was jointly supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MEST) (No. 2010-0014026), Samsung Biomedical Research Institute grant (C-B0-217-3), and IT Consilience Creative Program of MKE and NIPA (C1515-1121-0003).

참고 문헌

- Barnett V. and Lewis, T. (1994). *Outliers in Statistical Data*, Wiley & Sons, New York.
- Coslett, H. B. and Heilman, K. M. (1989). Hemihypokinesia after right hemisphere stroke. *Brain Cogn.*, 9, 267-278.
- Gregory P. Crucian, Kenneth Heilman, Elia Junco, Michael Maraist, William E. Owens, Kelly D. Foote, and Michael S. Okun (2007). *The Crossed Response Inhibition Task in Parkinson's Disease: Disinhibition Hyperkinesia*. *Neurocase*, 13(3), 158-164.
- Heilman K. M. (2004). Intentional neglect. *Frontiers in Bioscience*, 9, 694-705.
- Kertesz, A., Nicholson, I., Cancelliere, A., Kassa, K. and Black, S. E. (1985). Motor impersistence: a right-hemisphere syndrome. *Neurology*, 35(5), 662-666.
- Seo SW, Jung K., You H., Lee BH, Kim GM, Chung CS, Lee KH, Na DL. (2009). Motor-intentional disorders in right

hemisphere stroke. *Cogn Behav Neurol*, 22,
242-248.

Yoon DS, Jung K., Kim GH, Kim SH, Lee BW,
Seo SW, You H., Na DL. (2012). Motor
intentional disorders in vascular mile
cognitive impairment and vascular dementia
of subcortical type.