

# Motor Skill Learning on the Ipsi-Lateral Upper Extremity to the Damaged Hemisphere in Stroke Patients

Sung Min Son<sup>1</sup>, Yoon Tae Hwang<sup>2</sup>, Seok Hyun Nam<sup>3</sup>, Yonghyun Kwon<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Therapy, College of Health Science, Cheongju University; <sup>2</sup>Department of Physical Therapy, Gangneung Yeongdong University; <sup>3</sup>Department of Rehabilitation Science, Graduate School, Daegu University; <sup>4</sup>Department of Physical Therapy, Yeungnam University, Daegu, Korea

**Purpose:** This study examined whether there is a difference in motor learning through short-term repetitive movement practice in stroke survivors with a unilateral brain injury compared to normal elderly participants.

**Methods:** Twenty-six subjects who were divided into a stroke group (n = 13) or sex-aged matched normal elder group (n = 13) participated in this study. To evaluate the effects of motor learning, the participants conducted a tracking task for visuomotor coordination. The accuracy index was calculated for each trial. Both groups received repetitive tracking task training of metacarpophalangeal joint for 50 trials. The stroke group performed a tracking task in the upper extremity ipsi-lesional to the damaged hemisphere, and the normal elder group performed the upper extremity matched for the same side.

**Results:** Two-way repetitive ANOVA revealed a significant difference in the interactions (time × group) and time effects. These results indicated that the motor skill improved in both the stroke and normal elder group with a tracking task. On the other hand, the stroke group showed lesser motor learning skill than the normal elder group, in comparison with the amount of motor learning improvement.

**Conclusion:** These results provide novel evidence that stroke survivors with unilateral brain damage might have difficulty in performing ipsilateral movement as well as in motor learning with the ipsilateral upper limb, compared to normal elderly participants.

**Keywords:** Stroke, motor learning, ipsilateral motor deficits

## 서론

뇌졸중은 손상된 대뇌의 반대측 사지에 운동학적 결함을 발생시켜 편측마비(hemiparesis)를 발생시킬 뿐만 아니라, 감각 및 인지 기능과 의식 상태의 변화가 나타날 수 있다.<sup>1,2</sup> 특히 손상된 뇌 반구의 반대측 상지와 하지에 비정상적인 근긴장도(muscle tone)와 부적절한 근육동원 타이밍(muscle recruitment timing)은 움직임 패턴(movement pattern)에 부정적인 영향을 주어 운동결함을 발생시킨다.<sup>3</sup> 이러한 운동결함은 뇌졸중 환자의 기능적 독립과 일상생활 활동에 제한을 가져올 수 있다.<sup>4,5</sup> 그래서 지금까지 많은 선행연구들은 뇌졸중 환자의 손상측 상지와 하지에 대한 움직임을 분석하고 비정상적인 움직임을 향상시키기 위한 치료적 접근법에 대한 연구에 초점을 두었다.

이에 반해, 뇌졸중 대상자의 손상 받은 뇌의 동측 상지와 하지는 일반적으로 정상측(sound side) 또는 비손상(non-affected side)으로 인

식하고, 손상측의 운동회복에 대한 기준점(reference point)이 되었다.<sup>6</sup> 하지만, 선행 연구들에서는 뇌졸중 환자에서 정상측 혹은 비손상측 상지와 하지에서 미세한 운동학적 결함들(motor deficits)의 증거들이 보고되고 있다. 동측운동결함(ipsilateral motor deficit)에 대한 초기 연구는 뇌졸중 후 운동약화가 발생한다고 입증하였고,<sup>7</sup> 최근 연구들에서는 상지와 하지에서 추적과제(tracking task), 타판과제(tapping task), 목표 지향적 움직임(goal direct movement)과 같은 섬세하고 협응(coordination)된 움직임이 필요한 다양한 운동 과제 수행에서 동측운동결함(ipsilateral motor deficits)이 있음을 확인하였다.<sup>8-10</sup>

뇌졸중 후 손상측 사지는 운동 결함으로 인해 새로운 움직임을 학습하는데 어려움이 있다. 그래서, 손상측 사지를 대신하여 비손상측 사지의 운동학습 능력은 기능적인 일상생활 활동을 위해 새로운 운동 기능을 습득하는데 필요한 중요한 요소이다. 하지만, 동측운동결함과 관련한 선행 연구들에서 제시한 동측 사지의 운동 약화나 섬세

Received Jul 1, 2019 Revised Aug 5, 2019

Accepted Aug 16, 2019

Corresponding author Yonghyun Kwon

E-mail [kwonpt@hanmail.net](mailto:kwonpt@hanmail.net)

Copyright ©2019 The Korean Society of Physical Therapy

This is an Open Access article distribute under the terms of the Creative Commons Attribution Non-commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

하고 협응된 움직임에 대한 운동학적 기능 결함은 새로운 움직임을 학습하는데 부정적인 영향을 줄 수 있다.

지금까지 대부분의 연구들은 뇌졸중 환자의 손상된 대뇌반구의 동측 사지에 대한 운동학적 결함을 확인하기 위해 연구의 초점이 맞추어져 있었으며, 동측운동결함과 함께 새로운 움직임을 학습할 수 있는 능력이 정상 대상자와 비교하여 차이가 있는지에 대한 연구는 없었다. 그래서 우리의 연구의 목적은 단시간 반복적인 움직임 연습을 통해 뇌졸중 대상자와 정상 성인 대상자 사이에 운동학습 능력이 차이가 있는지 확인하는 것이다.

## 연구 방법

### 1. 연구대상

본 연구는 MRI 혹은 CT 영상에서 뇌출혈 또는 뇌경색으로 인해 뇌졸중으로 진단 받은 대상자 13명과 신경학적 손상이 없는 정상 대상자 13명으로 하였다. 연구에 참여한 뇌졸중 환자의 선정 기준은 다음과 같다. 1) 뇌경색 혹은 뇌출혈로 인해 한쪽 뇌 손상(unilateral damaged brain)을 진단 받은 자 2) 소뇌 및 뇌줄기에 손상을 받지 않은 자 3) 편측 무시(neglect) 및 시각적 문제가 없는 자 4) 운동실행증(apraxia) 없는 자 5) 한국형 간이정신상태검사(MMSE-K)에서 24점 이상인 자로 하였다. 모든 환자는 본 연구의 목적을 이해하고 실험 전에 참여 의사에 동의하였으며, 청주대학교 Institutional review board의 승인을 받아 Helsinki 선언에 따라 연구를 진행하였다.

정상 노인 대상자군은 뇌졸중 환자군의 성별과 나이 분포에 따라 정상 노인 대상으로 매칭하였으며, 선정 기준은 다음과 같다. 1) 시각적 결함이 없는 자 2) 상지에 정형외과적 결함이 없는 자 3) 중추신경계 혹은 말초신경계의 신경학적 손상이 없는 자 4) 한국형 간이정신상태검사에서 24점 이상인 자로 하였다. Table 1은 두 그룹의 일반적인 특성을 나타낸다.

### 2. 측정도구 및 방법

우리의 연구에서는 손허리손가락(metacarpophalangeal, MCP) 관절의

Table 1. The general characteristics of the subject

	Normal elder group (n=13)	Stroke group (n=13)
Gender (Male/Female)	07월 06일	07월 06일
Age (year)	67.31±5.30	63.85±6.03
Height (cm)	164.85±7.28	165.62±6.13
Weight (kg)	61.69±10.39	63.23±8.75
Onset duration (month)	-	11.04±13.63
Paretic side (Right/Left)	-	06월 07일
Test side (Right/Left)	06월 07일	06월 07일

Values are presented as mean±standard deviation.

움직임을 통해 시-공간적(visuospatial) 추적과제를 실시하였다. 추적과제(tracking task) 데이터는 개인 노트북 컴퓨터, 회전 전위차계(rotatory potentiometer), I/O 장비와 데이터 분석 소프트웨어를 사용하여 수집하였다. 자체 제작된 플라스틱 보조기에 전위차계(potentiometer)를 삽입하여 손허리손가락 관절의 굽힘(flexion)과 펴기(extension)의 움직임을 정량화 할 수 있도록 하였다. 데이터는 1.5 Hz 저역 통과 필터(low-pass filter)와 함께 120 Hz 주파수의 발진관(oscillation)에 수집한 아날로그 신호를 변환기(convert)를 통해 디지털 신호로 컴퓨터로 전송되도록 하였다. 시-공간적 추적과제를 수행하기 위해 뇌졸중 대상자들은 비손상측 상지를 이용하여 추적 과제를 진행하였으며, 정상 대조군은 뇌졸중 대상자가 수행한 같은 방향(same side)의 손허리손가락 관절에서 추적 과제를 수행하였다. 대상자들은 팔꿈치가 약 90도 정도 굽힘되고 편안하게 지지된 자세에서 테이블 앞에 앉아 과제 평가를 수행하였다.

추적 과제는 대상자가 모니터에 나타나는 목표 정현파(target wave)를 15동 동안 가능한 정확하게 추적하도록 지시하였다. 추적과제는 시상면(sagittal plane)에서 일어나는 손허리손가락 관절의 굽힘과 펴기를 통해 수행하였고, 2번째에서 5번째 손허리손가락관절의 굽힘은 하향으로 펴는 상향으로 표시되도록 하였다. 목표정현파는 다양한 속도와 1.5-3 Hz 내에서 다양한 진폭으로 표시되어 나타났다. 컴퓨터 모니터에서 대상자의 움직임에 의해 나타나는 반응파(response wave)는 빨간색으로 표시되었고, 목표정현파는 검정색으로 표시되어 나타나게 하였다. 컴퓨터 모니터에 나타나는 정현파 신호(sinusoidal signal)의 상하 진폭(peak)은 손허리손가락 관절의 실제 움직임 범위와 일치하도록 하였고, 실제 MCP 관절의 움직임의 범위는 각 대상자의 80% 이내의 범위로 설정하였다.

추적과제에서의 수행의 정확도는 정확도 지수(accuracy index, AI)로 추정하였다.

$$AI = 100(P-E) / P$$

E는 반응파(response wave)와 목표정현파(target wave) 사이의 제곱평균오차(root mean square)이고, P는 목표신호(target signal)와 목표신호의 상단과 하단의 구간(top and bottom phases of the target signal)이 분리하는 수직선 사이의 RMS 값으로서 수행자의 목표 패턴(target pattern)의 크기(bulk)를 추정한다. P의 사이즈는 MCP 관절의 움직임 범위인 수직선의 눈금에 의해 결정된다. AI 점수는 참가자의 반응파가 목표 신호와 가까워 질수록 양의 점수(positive score)가 되고, 반응파가 목표 신호와 멀어질수록 음의 점수(negative score)로 평가된다. AI 점수는 100에서 -100까지의 점수 범위로 표시되도록 하였다.

두 그룹의 모든 대상자들은 15초 동안 총 50번의 추적과제를 실시하였고, 5번의 추적과제 완료 후 1분 동안 휴식을 하였다. 훈련 전-후 각각 3번의 추적과제를 수행한 결과값의 평균으로 운동습득 능력을

확인하였다. 뇌졸중 환자군은 비손상측(less-affected side)으로 추적 과제 훈련 및 평가를 실시하였으며, 정상 대조군은 뇌졸중 환자군과 매칭하여 동일한 방향에 추적과제 훈련 및 평가를 실시하였다. 훈련 중 어지러움증이나 이상 증상을 호소하면, 충분한 휴식을 취한 후 다시 평가 혹은 훈련이 이루어졌다.

### 3. 분석방법

통계학적 자료 분석은 SPSS 22.0 version을 사용하였다. 정상대조군과 뇌졸중 환자군 사이의 나이, 키, 몸무게에 관련된 것은 독립 t-test를 이용하였다. Shapiro-Wilk test를 통해 두 그룹 사이에 정규성 검정을 실시하였다. 두 그룹 사이의 훈련 전·후의 정확도 지수를 비교하기 위하여 이요인 반복측정 분산분석(two-way repeated-measures analysis) 통해 확인하였다. 추가적으로 상호작용에 대한 그룹 간 비교를 위해 독립 표본 t 검정 (independent t-test)를 사용하였으며, 그룹 내 비교를 위해서는 대응 표본 t 검정(paired t-test)로 확인하였다. 유의 수준은 0.05로 설정하였다.

## 결 과

Table 1은 뇌졸중 환자군과 정상노인 그룹의 일반적인 특성을 나타낸다. 일반적 특성인 성별, 연령, 나이, 키와 몸무게에서 두 그룹 사이에서 유의한 차이는 없었다. 추적과제 훈련 전·후 AI에 대한 그룹 내 비교에서 두 그룹 모두 유의한 차이를 나타내었다. 두 그룹 간 추적과제 훈련 전·후 운동 학습 스킬에 유의한 차이가 있는지 확인하기 위해 이요인 반복측정분산분석을 통해 확인하였고, 두 그룹 사이에서 정확도 지수에서 교호작용에서 유의한 차이가 있었다( $F=5.46$ ,  $p=0.028$ ). 훈련 전 정확도 지수에서 두 그룹 사이에서 유의한 차이가 나타났으며( $p<0.05$ ), 두 그룹 모두 실험 전·후 값 차이 비교에서도 유의한 차이를 확인하였다( $p<0.05$ )(Table 2).

## 고 찰

많은 선행 연구들에서 뇌졸중 환자의 손상된 동측 사지에 운동학적 결함이 있음을 확인하였고, 이와 같은 동측운동결함은 운동 기술의

**Table 2.** Comparison of accuracy index changes in the stroke patient and normal elder groups according to tracking task training

	AI index (°)		Time×Group
	Pre	Post	
Normal elder group (n=13)	4.38±1.09 <sup>†</sup>	4.95±1.13* <sup>†</sup>	F=5.46
Stroke group (n=13)	3.52±0.80	3.75±0.82*	p=0.028

Values are presented as mean±standard deviation, AI: accuracy index. \*significant difference between pre- and post-test ( $p<0.05$ ), <sup>†</sup>significant difference compared with the stroke group ( $p<0.05$ ).

습득에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 그래서, 본 연구에서 손상된 대뇌 반구의 동측 상지에 단시간 반복적인 시-공간적(visuo-spatial) 움직임 연습을 통해 뇌졸중 환자들의 운동학습 능력을 확인 하였다. 본 연구의 결과에서는 뇌졸중 대상자와 나이와 성별을 매칭한 정상 대상자 그룹 모두에서 시-공간적 움직임 연습 후 손허리손가락 관절 움직임의 정확도 지수가 증가하였다. 하지만, 그룹 간 비교에서 뇌졸중 대상자 그룹은 정상 성인 노인 그룹과 비교했을 때, 운동학습 능력 정도가 현저히 감소되게 나타났다. 이러한 우리 연구의 결과는 뇌졸중 대상자는 정상 대상자보다 손상된 대뇌반구의 동측 상지(ipsilateral upper-limb of damaged hemisphere)에서 충분한 운동 학습이 이루어지지 못한다는 것을 제시한다.

본 연구에서 단시간 반복 연습 전에 이루어진 중재 전 정확도 지수 결과 값은 여러 선행 연구들의 결과와 같이 뇌졸중 대상자에서 시-공간적(visuo-spatial) 협응 움직임이 필요한 추적과제에서 정상 대상자와 비교했을 때 정확도 지수 값이 낮은 평가 결과가 나타났다. 이는 본 연구에서도 뇌졸중 대상들이 대뇌반구의 동측 상지에 동측운동결함이 있음을 확인한 연구 결과이다. Kwon 등의 연구에서는 편측 뇌손상(unilateral brain damaged)을 가진 뇌졸중 환자에서 동측 상지에 대한 빠르고 단순한 움직임(rapid-simple repetitive movement), 시공간적 운동 협응 능력(visuospatial motor coordination)과 복잡한 연속적인 움직임(sequencing movement)이 필요한 과제들을 수행하는 것이 성별·나이를 매칭한 정상 대조군에 비해 어려움이 있다고 확인하였다.<sup>11</sup> 또한, 여러 선행 연구들에서도 뇌졸중 후 비손상측 상지(non-affected side)에서 복잡한 목표 지향적인 표적 움직임(goal-direct target movement)에서 증가된 분절 움직임, 시간적 불일치(temporal inconsistency)와 시지각(visuoperceptual) 움직임의 부정확성과 같은 다양한 형태의 운동결함을 확인하였고,<sup>12-15</sup> 이는 본 연구의 결과와 유사한 결과로서 본 연구의 결과를 뒷받침한다.

추가적으로 본 연구의 결과에서 두 군 모두 반복적인 추적과제 훈련 전·후 그룹내 비교에서 정확도 지수값이 유의하게 증가하였다. 하지만, 두 군 사이의 그룹간 비교에서도 뇌졸중 환자에 비해 정상인 대상자들이 정확도 지수 값의 향상이 유의하게 더 높았다. 이는 뇌졸중 환자에서 손상된 대뇌반구의 동측 상지에 운동결함과 함께 시-공간적 협응 능력과 관련한 운동습득 능력에서 성별과 나이를 매칭한 정상 노인 그룹에 비해 충분한 운동 학습이 이루어지지 않고 있음을 확인할 수 있는 결과라 생각 되어진다. 현재까지 뇌졸중 대상자들의 대뇌반구의 동측 사지에 대한 운동학습에 대한 연구는 없었다. 그래서 뇌졸중 대상자들에서 비손상측 동측 상지에서 제한된 운동학습이 이루어지는 대한 충분한 증거를 제시할 수는 없다. 하지만, 뇌졸중 환자의 제한된 동측 운동학습 대해 고려해 볼 수 있는 기전이 있다.

우리의 연구 결과는 운동 수행(motor performance)에 대한 뇌 편측

화(brain lateralization)와 관련한 선행 연구들에 의해 일부 설명 되어 질 수 있다. Sainburg는 정상 성인에서 새로운 역동적이고 시각적 운동 환경에 적응하고 움직임을 수행하기 위해서 오른쪽과 왼쪽 뇌의 각각의 기능적 역할을 설명하였다.<sup>16</sup> 오른손잡이 대상자에서 왼쪽 대뇌반구(hemisphere)는 기계적으로 안정된 환경 조건에서 부드럽고 효율적인 움직임 궤도를 지정하는 예측 프로세스에 특수화되어 있고, 반면에 오른쪽 대뇌반구는 예측 불가능하고 기계적으로 불안정한 환경 조건 내에서 수행되는 움직임에 견고함을 부여하는 임피던스 조절 메커니즘에 특수화되어 있다.<sup>16,17</sup> 실제적으로 복잡한 움직임의 수행을 위해서는 양측 대뇌반구가 함께 동원되어야 하며,<sup>18-20</sup> 수행 난이도가 높아질수록 양측 뇌반구의 활성화는 증가하게 된다고 보고하였다.<sup>21,22</sup> 그래서, 이 선행 연구들의 결과를 토대로 오른쪽과 왼쪽 뇌는 각각 기능적 역할이 분담되어 있으며, 어느 한쪽의 뇌라도 손상이 되어진다면 양측 대뇌 반구가 함께 활성화가 요구되어지는 움직임을 학습하는데 어려움이 나타날 수 있을 것이다.

우리의 연구 결과는 뇌졸중 대상자들이 동측운동결함 뿐만 아니라 동측 상지(ipsi-lesional side)의 운동 학습 능력에서도 정상 노인대상자들에 비해 저하되어 있음을 확인한 새로운 증거(novel evidence)를 제공한다. 그래서, 임상에서는 뇌졸중 대상자들의 동측 사지에 제한된 운동 학습이 존재 할 수 있기에 동측 사지에 대해서도 관심을 가져야 할 것이다. 하지만, 우리의 연구에는 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 첫째, 우리의 연구는 인체의 많은 관절 중에 손허리손가락 관절에서만 운동학습을 확인하여 다른 관절에서 운동학습에는 일반화하기 어렵다는 것이다. 둘째, 우리의 연구는 장시간 훈련이 아닌 단시간의 반복적인 훈련만 실시한 것이다. 마지막으로 대상자수가 적어 일반화하기 어렵다는 것이다. 그래서, 향후 이러한 제한점을 보완하여, 장시간 훈련을 통한 다양한 관절들에서 뇌졸중 환자의 동측(ipsilateral side)의 운동학습 능력에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

## Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (NRF-2017R1-C1B5017702)

## Reference

- Allum JH, Bloem BR, Carpenter MG et al. Proprioceptive control of posture: A review of new concepts. *Gait Posture*. 1998;8(3):214-42.
- Kwakkel G, Kollen BJ, van der Grond J et al. Probability of regaining dexterity in the flaccid upper limb: Impact of severity of paresis and time since onset in acute stroke. *Stroke*. 2003;34(9):2181-6.
- Lee TH, Choi JD, Lee NG. Activation timing patterns of the abdominal and leg muscles during the sit-to-stand movement in individuals with chronic hemiparetic stroke. *J Phys Ther Sci*. 2015;27(11):3593-5.
- Lomaglio MJ, Eng JJ. Muscle strength and weight-bearing symmetry relate to sit-to-stand performance in individuals with stroke. *Gait Posture*. 2005;22(2):126-31.
- Sin H, Lee G. Additional virtual reality training using xbox kinect in stroke survivors with hemiplegia. *Am J Phys Med Rehabil*. 2013;92(10): 871-80.
- Debaere F, Van Assche D, Kiekens C et al. Coordination of upper and lower limb segments: Deficits on the ipsilesional side after unilateral stroke. *Exp Brain Res*. 2001;141(4):519-29.
- Brodal A. Self-observations and neuro-anatomical considerations after a stroke. *Brain*. 1973;96(4):675-94.
- Alagona G, Delvaux V, Gerard P et al. Self-observations and neuro-anatomical considerations after a stroke. *Stroke*. 2001;32(6):1304-9.
- Kim JS, Kwon YH, Kim K. Ipsilateral motor deficits in patients with unilateral brain damage. *J Kor Soc Phys Ther*. 2006;18(2):1-9.
- Son SM, Kwon YH, Lee NK et al. Deficits of movement accuracy and proprioceptive sense in the ipsi-lesional upper limb of patients with hemiparetic stroke. *J Phys Ther Sci*. 2013;25(5):567-9.
- Kwon YH, Kim CS, Jang SH. Ipsi-lesional motor deficits in hemiparetic patients with stroke. *NeuroRehabilitation*. 2007;22(4):279-86.
- Farne A, Roy AC, Paulignan Y et al. Visuo-motor control of the ipsilateral hand: Evidence from right brain-damaged patients. *Neuropsychologia*. 2003;41(6):739-57.
- Hermisdorfer J, Laimgruber K, Kerkhoff G et al. Effects of unilateral brain damage on grip selection, coordination, and kinematics of ipsilesional prehension. *Exp Brain Res*. 1999;128(1-2):41-51.
- Jung HY, Yoon JS, Park BS. Recovery of proximal and distal arm weakness in the ipsilateral upper limb after stroke. *NeuroRehabilitation*. 2002;17(2):153-9.
- Sung MS, Seok HN, Kang KW et al. Relationship between ipsilateral motor deficits on the less-affected side and motor function stage on the affected side *J Kor Phys Ther*. 2018;30(6):234-8.
- Sainburg RL, Wang J. Interlimb transfer of visuomotor rotations: Independence of direction and final position information. *Exp Brain Res*. 2002;145(4):437-47.
- Sainburg RL. Evidence for a dynamic-dominance hypothesis of handedness. *Exp Brain Res*. 2002;142(2):241-58.
- Catalan MJ, Honda M, Weeks RA et al. The functional neuroanatomy of simple and complex sequential finger movements: A pet study. *Brain*. 1998;121(2):253-64.
- Lotze M, Scheleer G, Tan HR et al. The musician's brain: Functional imaging of amateurs and professionals during performance and imagery. *Neuroimage*. 2003;20(3):1817-29.
- Pujol J, Roset-Llobet J, Rosines-Cubells D et al. Brain cortical activation during guitar-induced hand dystonia studied by functional mri. *Neuroimage*. 2000;12(3):257-67.
- Shibasaki H, Sadato N, Lyshkow H et al. Both primary motor cortex and supplementary motor area play an important role in complex finger movement. *Brain*. 1993;116(6):1387-98.
- Winstein CJ, Grafton ST, Pohl PS. Motor task difficulty and brain activity: Investigation of goal-directed reciprocal aiming using positron emission tomography. *J Neurophysiol*. 1997;77(3):1581-94.