

편측 뇌손상 환자에서 특정 과제에 한정된  
동측 상지의 운동 결함 분석

대구대학교 대학원 재활과학과 물리치료전공

권용현

대구대학교 재활과학대학 물리치료학과

김중선

**Ipsilateral Motor Deficit during Three Different Specific Task  
Following Unilateral Brain Damage**

Kwon, Yong hyun, P.T., M.S.

Major in Physical Therapy, Dept. of Rehabilitation Science, Graduate School, Daegu  
University

Kim, Chung sun, P.T., Ph.D.

Dept. of Physical Therapy, College of Rehabilitation Science, Daegu University

<abstract>

Impaired sensorimotor function of the hand ipsilateral to a unilateral brain damage has been reported in a variety of motor task. however, it is still the controversial issue because of the difficulty of detection in clinical situation, patients' variability(time after onset, contralateral upper extremity severity, other cognitive functions including apraxia), and the performed various motor task.

The purpose of this study is to determine the presence of ipsilateral motor deficit following unilateral brain damage in three different specific tasks(hand tapping, visual tracking and coin rotation) compared with healthy age-sex matched control group using the same hand and to investigate the lateralized motor control in each hemispheric function.

Findings revealed that stroke patients with unilateral brain damage experienced difficulties with rapid-simple repetitive movement, visuomotor coordination, complex sequencing movement on ipsilateral side. Also, Comparison of the left-hemispheric stroke groups and the right-hemispheric stroke groups revealed that patients with a left-hemisphere damage tended to be more variable in performing all of the three tasks.

These results show that stroke patient with left hemisphere damage has more ipsilateral motor deficit, and the left hemisphere contributes to the processing of motor control that

necessary for the executing actions with ipsilateral hand.

## I. 서론

편측 뇌손상 후 나타나는 대표적인 신경학적 손상 중 하나로, 손상 받은 뇌반구의 반대측 상지와 하지에서 운동 및 감각 기능의 장애를 가지는 이러한 증상을 ‘편마비’로 간주한다. 그러나 손상 받은 뇌의 동측 상지와 하지는 ‘정상측(sound side)’ 또는 ‘비손상측(unaaffected side)’으로 인식되어져 왔다(Debaere 등, 2001).

행동신경과학(behavioral neuroscience)의 분야에서 실행증(apraxia)을 연구하던 Liepmann(1907)에 의해 편측 뇌손상 후 양쪽 상지 모두에서 의미 있는 상징적 행동(symbolic behaviour)의 표현에 문제가 발생한다고 보고하여 동측 상지의 운동 결함(ipsilateral motor deficit)에 대해 처음 제시하였다. 그 후 Brodal(1973)이 편측 뇌손상 후 손상된 뇌반구의 동측 상지에서 근약증(muscle weakness)이 나타난다고 보고한 후 이를 뒷받침하는 많은 연구가 진행되어왔으나 동측 상지에서 근약증의 증상이 관찰되지 않았고(Haaland 등, 1981; Chollet 등, 1991), 손가락 타판운동의 속도에서 좌측과 우측 뇌반구의 차이가 없다는 연구가 보고되고 있다(Haaland 등, 1987; Haaland 등, 1999; Roy 등, 1992).

그러나 여러 연구자들(Colebatch와 Gandeva, 1989; Sunderland 등 1999; Sunderland, 2000)은 동측 상지의 파악력 검사에서 정상군과 비교하여 유의한 차이가 있다고 제시하였다. 또한 파악력과 같은 단순한 운동의 손상뿐만 아니라 빠르고 단순한 반복 동작(rapid simple repetitive movement)에서부터 손의 기민성과 복잡한 운동 과제(complex motor task)에 이르기까지 다양한 과제를 수행하는 동안 동측 상지의 운동학적 결함이 존재한다고 보고되고 있다. Debaere 등(2001)은 편측 뇌손상 환자가 정상인과 비교하여 상지와 하지의 지절간 협응력(interlimb coordination)이 손상되었다고 하였고 Kim 등(2003)은 목표 지향 표적 동작(goal-directed target movement)에서 손상된 뇌반구의 동측 상지 뿐 만 아니라 하지에서도 정상인과 비교하여 반응시간(reaction time)과 잔류시간(dwell time)의 지연이 발견되었다고 보고하였다. Danilo(2003)는 또한 동측 상지를 사용할 때 몸통이 전위되는 범위와 상지간의 시공간적 협응력(temporospatial coordination)에서도 장애가 존재한다고 하였고 Sunderland 등(1999)은 경미한 신경심리학적 손상은 동측 상지의 기민성에 영향을 미친다고 보고하였다.

이와 같이 편측 뇌손상 후 동측 상지에서 여러 가지 운동학적 결함이 발생한다는 것은 이미 많은 연구자들이 서로 일치하는 결과를 보이고 있지만, 여러 변수로 인해 서로 상반된 결과를 가진다. Pohl 등(1997)은 동측 운동 결함에 대해 서로 상반된 연구 결과를 보이는 것은 과제의 복잡성과 난이도, 뇌손상의 크기와 위치, 마비측에서 나타나는 운동 장애의 정도, 유병 기간 등의 차이 때문이라고 하였고, Winstein 등(1995)은 마비측 상지의 손상 정도가 심하거나 선조체와 내낭의 영역에 손상이 있을 경우에서 동측 상지의 운동 결함이 더 심하게

발생한다고 보고하였다.

동측 상지의 운동 결함의 원인은 뇌손상 후 운동기능의 회복기전 (motor recovery mechanism)과 뇌반구의 기능적 역할(interhemispheric specialization)에 관한 연구를 통해 알 수 있다. 기능적 자기공명영상(functional magnetic resonance images)과 경두개자기자극(transcranial magnetic stimulation)을 이용한 운동신경의 회복기전 중 동측성 운동 경로(ipsilateral motor pathway)의 활성화(Jang 등, 2001; Jang 등, 2003; Staudt 등, 2002)는 뇌손상 후 변화되는 신경 경로와 비대칭성(Triggs 등, 1994; Foundas 등, 1995; Kim 등, 1993)을 의미한다. 그리고 고차원적인 운동을 계획하고 실행하는 동안 양측 뇌반구가 모두 활성화된다고 보고한 연구에서는 편측 상지의 수행이 단지 반대측 뇌반구만 관여하지 않는다는 결과를 제시하고 있다(Winstein 등, 1995; Pohl 등, 1997). 또한, 동측 상지의 운동 결함의 측정에 사용되는 과제의 특수성(specificity of task)에 따라 좌·우 반구의 기능적 역할이 다르다고 하였다(Farné 등, 2003; Marque 등, 1997; Hanna-Pladdy 등, 2002).

이에 본 연구의 목적은 특정 동작에 한정된 서로 다른 형태(specificity of task)의 세 가지 과제인 타판과제(tapping task), 추적과제(tracking), 동전 돌리기(coin rotation)을 통해 동측성 운동 결함의 존재여부를 확인하고, 우반구 손상군과 좌반구 손상군을 비교하여 운동 조절에 대한 좌·우 뇌반구의 기능적인 차이를 알아보고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상

본 연구는 2003년 10월부터 2004년 3월까지 대구 소재 OO대학교의료원에서 편측 뇌손상으로 인해 뇌졸중으로 진단 받고 입원 또는 외래치료 중인 환자들 중 연구 참여 의사를 밝힌 35명과 실험군의 연령과 성별이 일치하는 37명의 대조군을 대상으로 실시하였다. 또한 대상자는 물리치료실로 의뢰되는 순서로 본 연구에 적합한 선정기준에 맞춰 환자군과 정상군의 연령과 성별을 일치하고 환자군에서 우반구 손상군(RHD)과 좌반구 손상군(LHD)의 유병 기간, 환측 상지의 기능 정도가 일치하도록 설계하여 대상자의 다양한 특성을 제한하였다. 대조군은 정신 질환이 없고, 신경학적 손상과 상지 및 손의 근골격계 손상이 없는 환자를 대상으로 하였다. 모든 대상자는 우측 손이 우성이어야 하며 이를 검사하기 위해 Edinburgh Handedness Inventory를 사용하였다(Oldfield, 1971).

연구에 참가한 환자의 선정기준은 뇌 단층 촬영(CT) 또는 자기공명영상(MRI)에서 편측 뇌에서만 손상을 받은 자, 소뇌와 뇌줄기에 손상을 받지 않은 자, 동측성 반맹증(hemianopsia)과 편측무시(unilateral spatial neglect) 증상이 없는 자, 언어 이해 능력에 장애가 없는 자, 지시하는 내용을 이해하고 따를 수 있는 자로 한국형 간이정신상태 판별검사(MMSE-K)에서 연령과 교육 수준을 고려한 평균 이상(24점)인 자, 실행증이 없는 자로 Florida Apraxia

Screen에서 27점 이상으로 제한하였다.

## 2. 실험 방법

### 1) 과제 및 도구

타판과제는 본 실험을 위해 개조된 가로 7.5cm, 세로 2.5cm인 사각형의 버튼이 있는 자판기와 Superlab Pro(Cedrus, USA)가 내장된 컴퓨터를 사용하였다. 손목 관절만을 이용하여 과제를 수행하도록 하기 위하여 둘째손가락의 근위 및 원위 지절관절과 모든 중수지절관절(metacarpophalangeal joint)의 움직임을 제한하도록 보조기를 제작하여 착용하였다<Fig II.1>.

추적과제는 전위차를 이용하여 관절의 움직임을 측정하는 전자측각기(electrogoniometer)를 사용하였다. 이 기구는 두 개의 단단한 팔이 용수철로 연결된 전자분압기(electrical potentiometer)로 구성되어 있다. 대상자의 둘째손가락에 부착하여 정중면에서 일어나는 중수지절관절의 굴곡과 신전의 움직임을 측정하였다. 전자측각기에서 나오는 관절 운동의 아날로그 신호가 MP150(Biopac system)으로 보내져 디지털 신호로 전환된다. 이와 연결된 개인용 컴퓨터에 내장된 acqknowledge 소프트웨어를 사용하여 필터링과 기타처리를 하였다. 각 신호의 표본 추출률(sampling rate)은 200Hz이고 1.5Hz의 저역통과필터(low pass filter)를 하였다<Fig II.2>.

동전돌리기는 반경 21.6mm 크기의 동전을 사용하였다.

### 2) 실험 절차

타판과제는 시작 명령과 함께 둘째손가락만 버튼에 닿도록 하여 15초 동안 가능한 빨리 타판하도록 하였다. 대상자의 주관절이 90도가 되도록 높이가 조절되는 탁자 앞에 편안한 자세로 앉고, 주관절과 상지의 움직임을 배제시키기 위해 버튼에서 20cm정도 떨어진 곳에 높이 5cm 되는 받침대를 사용하여 전완을 지지하였다. 사전 연습은 3번 실시하였고, 실제 측정은 3번 실시하여 타판 간 반응시간 간격의 표준편차(standard deviation of inter-tap interval)를 측정하였다.

추적과제는 전자측각기에서 변환된 관절의 움직임이 굴곡은 하향으로, 신전은 상향으로 컴퓨터화면에 표시되도록 하였다. 또한 대상자는 둘째손가락의 굴곡과 신전으로 평균 1.87hz의 일정하지 않은 속도로 제시되는 최고점이 다른 준거사인과 곡선을 15초 동안 정확히 따라 가도록 지시하였다. 이와 같이 준거사인과의 속도와 최고점을 변화시킨 이유는 동일한 속도와 범위의 지속적인 움직임이 빠른 학습효과를 일으켜 본 연구결과에 영향을 미칠 수 있기 때문이라 판단하였다. 그리고 실제 측정 시 제공되는 준거사인과의 다른 속도와 파형

을 연습 기간에 제공하여 학습 효과를 최대한 줄이도록 설계하였다<Fig II.3>. 실험 전 대상자에게 실험의 절차에 대해 충분히 설명을 하고 사전에 3번 연습 기간을 수행한 후에 본 실험을 진행하였다. 본 실험은 1번 측정하였고 준거사인파와 환자의 수행사이의 실행 오차값(root mean square error)을 측정하였다.

동전 돌리기는 엄지, 시지, 중지만을 사용하여 30초 동안 최대한 빨리 동전을 돌리는 횟수를 측정하였다. 실험 전 3번의 연습 기간을 제공하였고 본 실험은 3번 반복 측정하여 평균을 구하였다.

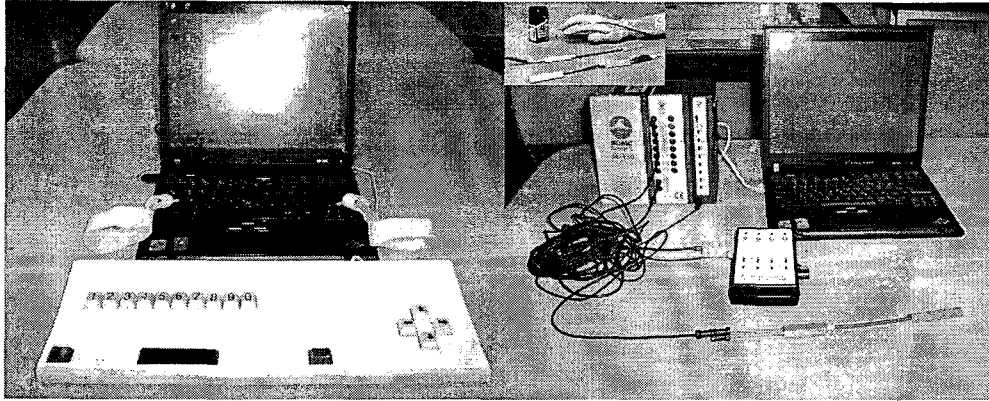
### 3. 측정 방법

실험군에서 마비측 상지의 질적 및 양적인 측정과 기능적 평가를 모두 검사하기 위해 상자블럭넣기 검사(Box and Block test), 퍼글-마이어 평가(Fugl-Meyer assessment), 퍼듀 페그보드(Purdue pegboard)를 사용하여 손의 전반적 조작 능력 및 정밀한 조작 능력, 질적인 움직임을 평가하였다.

상자블럭넣기 검사는 편측 상지의 대단위 조작 능력(gross manual dexterity)을 측정하는 검사로 대상자는 한쪽에서 다른 한쪽으로 1인치의 블럭을 60초 동안 최대한 많이 옮기도록 하여 그 개수를 측정하였다(Cromwell, 1976).

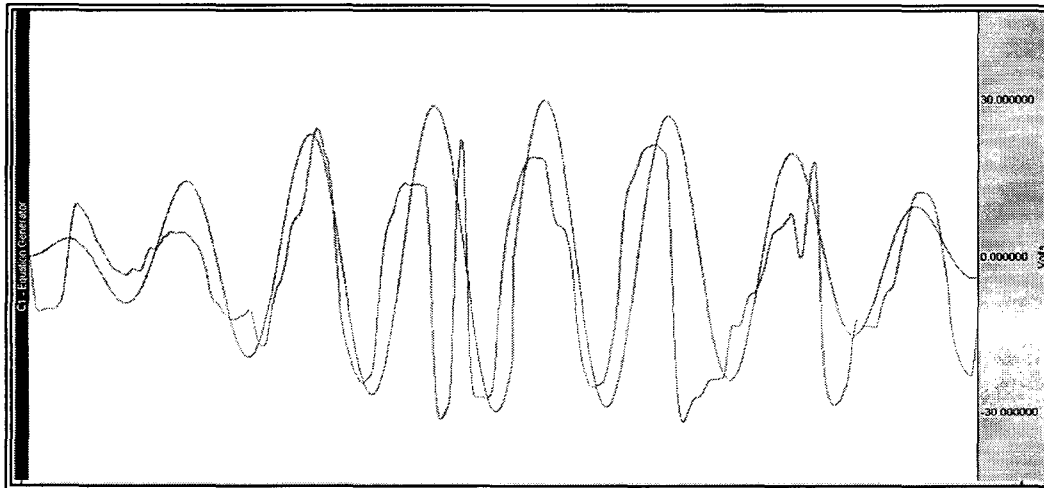
퍼글 마이어 평가는 브룬스트롬의 편마비 분류와 회복(Brunnstrom's hemiplegia Classification and progress record)의 6단계 과정을 근거로 50개의 항목으로 상세히 분류하였고 움직임을 질적 검사로 널리 사용되고 있다. 이 검사는 서열 척도로서 각각의 항목에서 수행할 수 없을 때 0, 부분적 수행 시 1, 완전하게 수행 시 2점이 주어진다. 전체 수치는 100점으로 상지 66점, 하지 34점으로 구성된다(Fugl-Meyer 등, 1975).

퍼듀 페그보드(Purdue Pegboard)는 30초 동안 작은 핀을 가능한 많이 집고(picking up), 조작하여(manipulation) 구멍 안에 끼워 넣는 핀의 수를 측정하였다.



<Fig II.1> Equipments for tapping task

<Fig II.2> Equipments for tracking task



<Fig II.3> Tracking task result in representative subject of the LHD group

### 3. 자료 분석

실험의 결과는 SPSS 12.0 for window를 이용하여 실험군과 대조군의 성별과 상지 손상 정도의 집단별 분포 차이를 알아보기 위해 카이스퀘어 검정을 실시하였다. 유병기간은 독립 t-검정을 실시하였고 연령은 일원배치분산분석으로 검정하였다. 각 종속변수에 대한 집단 간 차이를 비교하기 위해 일원배치분산분석을 실시하였고 사후 검정으로 Scheffe를 사용하였다.

통계학적 유의 수준은 0.05로 설정하였다.

## III. 결 과

## 1. 연구 대상자의 일반적인 특성 및 집단 간 유의성 검정

본 실험에 참여한 대상자는 남자 33명(47.1%), 여자 37명(52.9%). 총 70명이었다. 대상자 연령은 40-49세가 22명(31.4%), 50-59세가 26명(37.1%), 60-69세가 22명(31.4%)이고, 연령 분포는 40세에서 69세까지로 평균 54.23(±8.73)세이었다. 실험군은 34명과 대조군 36명으로 오른쪽 뇌반구에 손상을 받은 환자군 16명(22.9%), 왼쪽 뇌반구에 손상을 받은 환자군 18명(25.7%), 오른손으로 실험한 정상인 19명(27.1%), 왼손으로 실험한 정상인 17명(24.3%)이었으며 원인에 의한 분류는 뇌출혈 11명, 뇌경색 23명이었다. 유병기간은 오른쪽 뇌손상을 받은 환자군에서 9.11(±8.37)개월 이었고, 왼쪽 뇌손상을 받은 환자군에서 6.84(±9.95)개월 이었다. 각 집단별 연령과 유병 기간에 대한 동질성 검사를 실시한 결과, 연령은  $F=0.268$ ,  $P=0.849$ , 유병 기간은  $P=0.480$ 으로 통계학적으로 유의한 차이가 없었다. 또한, 교차분석을 이용하여 각 집단별 성별과 상지 손상 정도의 동질성 검사 결과, 성별은 카이스퀘어 검정에서  $P=0.959$ , 손상정도는  $P=0.087$ 로 통계학적으로 유의한 차이가 없었다<Table III.1>.

<Table III.1> Characteristics of each group

	Subject (n=34)		Control (n=36)		result
	RHD (n=16)	LHD (n=18)	C-RT (n=19)	C-LT (n=17)	
<b>Sex</b> (M/F)	8 / 8	9 / 9	8 / 11	8 / 9	$P=0.959$
<b>Age</b> (Mean±SD)	54.06 (±9.20)	55.72 (±9.19)	53.16 (±8.60)	54.00 (±8.54)	$F=0.268$ $P=0.849$
<b>Time after onset</b> (Months)	9.11 (±8.37)	6.84 (±9.95)			$P=0.841$
<b>Contralateral U/E severity</b> (mild/moderate/severe)	5/6/5	4/3/11			$P=0.087$

C-RT: Control group performed with right hand, C-LT: Control group performed with left hand  
RHD: Right hemisphere damage group, LHD: Left hemisphere damage group,

## 2. 측정 변위에 따른 각 집단별 평균 차이 비교

편마비 뇌졸중 환자의 동측 상지와 정상인의 오른쪽과 왼쪽 상지에서 타판과제(tapping), 추적과제(tracking), 동전 돌리기(coin rotation)를 검사한 결과는 <Table III.2>와 같다. 타판과제 ( $F=29.247$ ,  $P=0.000$ ), 추적과제 ( $F=6.746$ ,  $P=0.000$ ), 동전 돌리기( $F=7.640$ ,  $P=0.000$ )에서 네 집단의 평균값은 유의한 차이를 보였다.

타판 과제에서 우반구 뇌손상군 13.33ms, 좌반구 뇌손상군 40.71ms, 오른손을 검사한 대조

군 10.12ms, 왼손을 검사한 대조군은 19.72ms 이었다. 사후 검정의 집단 간 비교에서 우반구 뇌손상군과 오른손을 검사한 대조군( $P=0.857$ ), 정상군 간의 비교( $P=0.079$ )에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 좌반구 뇌손상군과 왼손을 검사한 대조군의 비교에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $P=0.000$ ), 따라서 좌반구 뇌손상군에서만 정상군과 비교하여 동측의 운동 결함을 보였다<Fig III.1>.

추적 과제에서 우반구 뇌손상군 12.69, 좌반구 뇌손상군 15.77, 오른손을 검사한 대조군 9.02, 왼손을 검사한 대조군은 9.02 이었다. 사후 검정의 집단 간 비교에서 우반구 뇌손상군과 오른손을 검사한 대조군( $P=0.257$ )은 6.75의 차이로 우반구 손상군에서 더 많은 수행 오류를 보였으나 정상군 간의 비교( $P=1.000$ )와 같이 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 좌반구 뇌손상군과 왼손을 검사한 대조군의 비교에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $P=0.005$ ). 따라서 좌반구 뇌손상군에서 정상군과 비교하여 동측성 운동 결함을 보였다<Fig III.2>.

동전 돌리기에서 우반구 뇌손상군 21.58회, 좌반구 뇌손상군 17.26회, 오른손을 검사한 대조군 22.72회, 왼손을 검사한 대조군은 20.98회 이었다. 사후 검정의 집단 간 비교에서 우반구 뇌손상군과 오른손을 검사한 대조군( $P=0.835$ ), 정상군 간의 비교( $P=1.000$ )에서 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 좌반구 뇌손상군과 왼손을 검사한 대조군의 비교에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $P=0.035$ ). 따라서 좌반구 뇌손상군에서만 동측 운동 결함을 보였다<Fig III.3>.

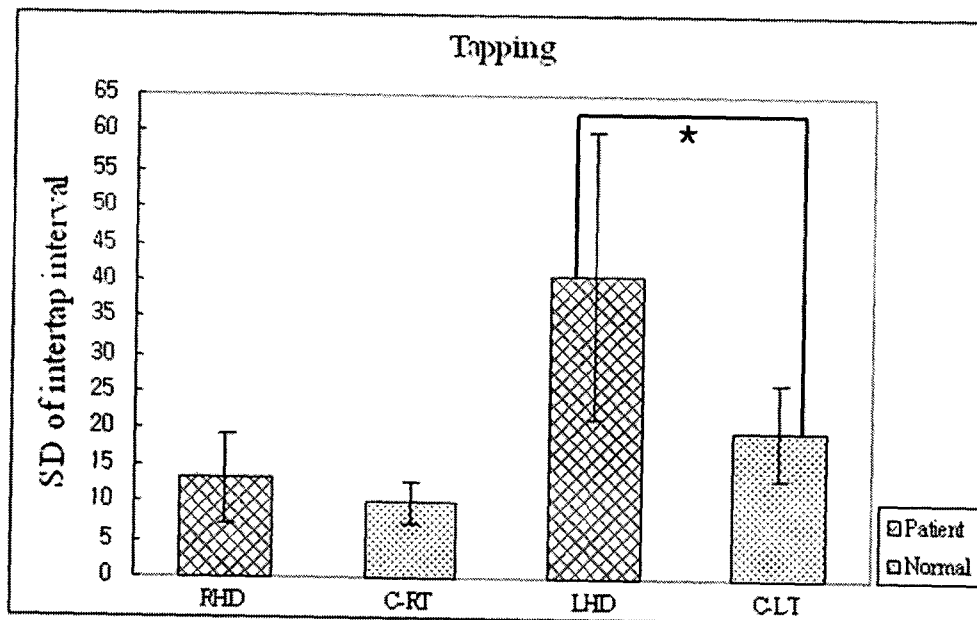
<Fig III.4>는 우반구 뇌손상군과 좌반구 뇌손상군을 직접적으로 비교하기 위하여, 각각의 검사 결과를 정상군에서의 수행 결과를 바탕으로 평균을 0, 표준편차를 1로 전환하여 표준화 점수(Z-score)로 환산하였다. 그리고 동전 돌리기 과제의 결과는 양수를 음수로 다시 전환하였다. 그 결과 모든 검사에서 우반구 뇌손상군보다 좌반구 뇌손상군에서 더 낮은 점수를 보였고, 특히 타판 과제에서는 우반구 뇌손상군은 정상군의 수행과 비교하여 거의 차이를 보이지 않았으나 좌반구 뇌손상군과는 상당한 차이를 보였다. 추적 과제와 동전 돌리기는 우반구 뇌손상군과 좌반구 뇌손상군 모두에서 정상군보다 더 많은 수행 오류를 보였다.

<Table III.2> Mean for all motor performance

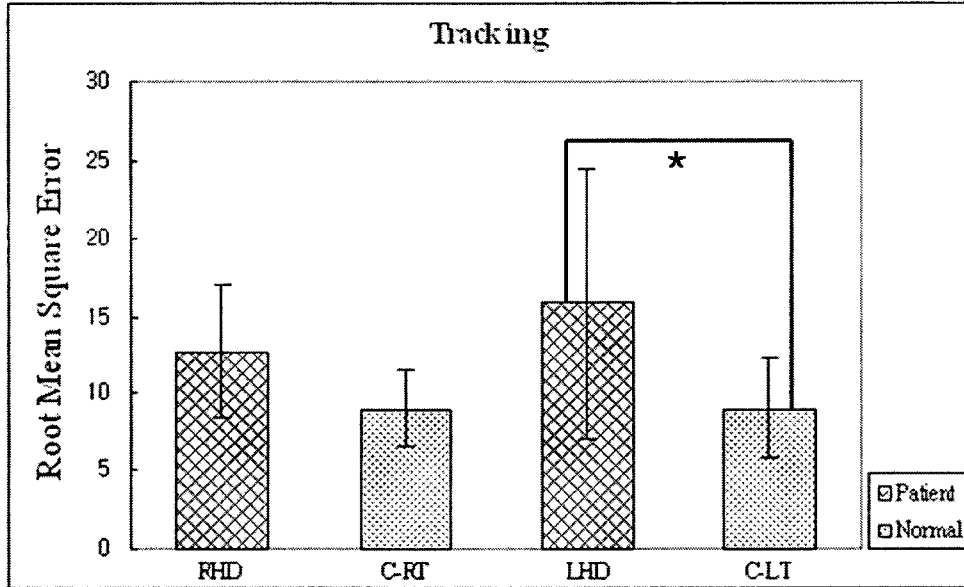


	Subject		Control		result
	RHD	LHD	C-RT	C-LT	
<b>Tapping</b> (SD of intertap interval, ms)	13.33 (±5.94)	40.71 (±19.28)	10.12 (±2.92)	19.72 (±6.52)	F=29.247 P=0.000
<b>Tracking</b> (Root Mean Square Error, volt)	12.69 (±4.27)	15.77 (±8.70)	9.02 (±2.53)	9.02 (±3.19)	F=6.746 P=0.001
<b>Coin Rotation</b> ( Times / 30S )	21.57 (±4.71)	17.26 (±4.71)	22.72 (±2.39)	20.98 (±2.45)	F=7.640 P=0.000

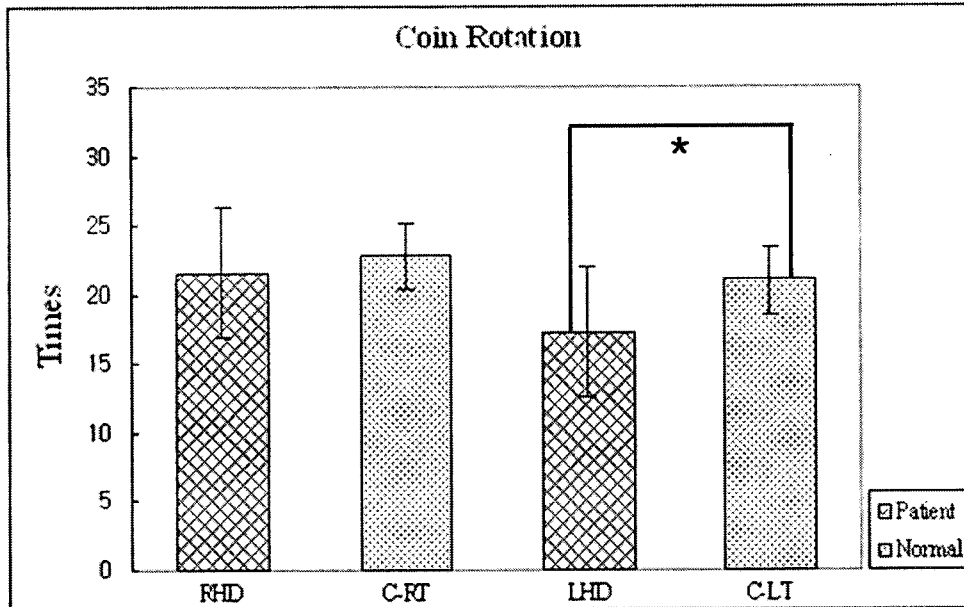
C-RT: Control group performed with right hand, C-LT: Control group performed with left hand  
RHD: Right hemisphere damage group, LHD: Left hemisphere damage group,



C-RT: Control group performed with right hand, C-LT: Control group performed with left hand  
 RHD: Right hemisphere damage group, LHD: Left hemisphere damage group. (\*:  $P < .05$ )  
 <Fig III.1> SD of inter-tap interval for both groups in tapping task

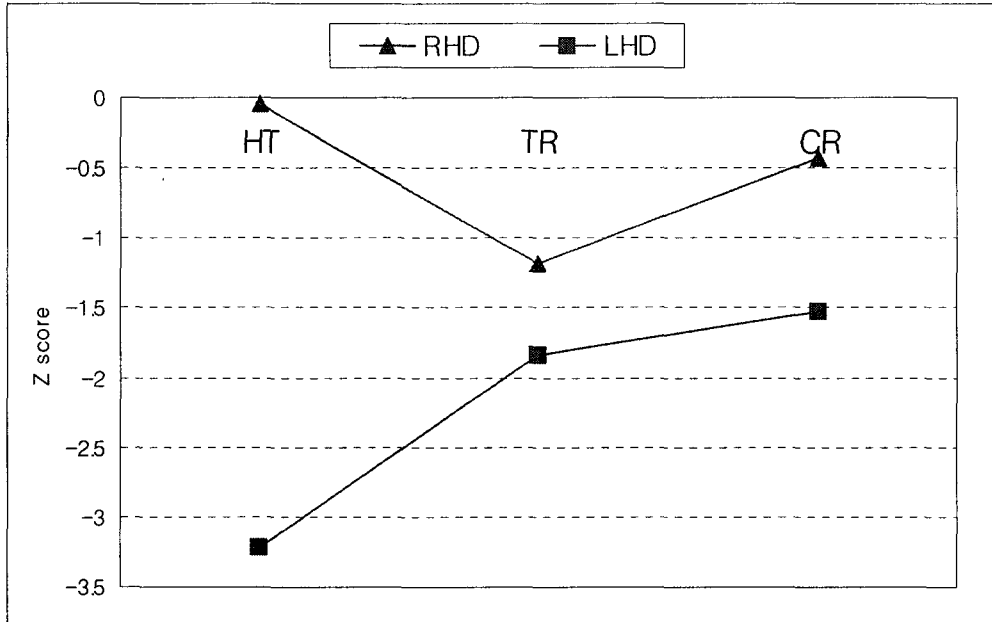


C-RT: Control group performed with right hand, C-LT: Control group performed with left hand, RHD: Right hemisphere damage group, LHD: Left hemisphere damage group. (\*:  $P < .05$ )  
 <Fig III.2> Root mean square error for both groups in tracking task



C-RT: Control group performed with right hand, C-LT: Control group performed with left hand  
 RHD: Right hemisphere damage group, LHD: Left hemisphere damage group. (\*:  $P < .05$ )

<Fig III.3> Times for both groups in coin rotation task



HT: Hand tapping task, TR: Tracking task, CR: Coin rotation task  
 <Fig III.4> Standardized Z score for all motor performance for subject groups

#### IV. 고찰

본 연구에서는 동측 운동 결합에 영향을 미치는 편측 뇌손상 환자의 다양한 임상적 특성인 유병기간과 마비측 상지의 손상 정도가 일치하고 세 가지의 각기 다른 형태의 운동학적 특성을 가진 과제를 사용하여 편측 뇌손상 후 동측 상지의 운동 결합을 측정하였다. 그리고 마비측 상지의 대단위 조작 기능 및 기민성, 움직임의 질적인 평가를 실시하고 포괄적인 운동 손상 정도를 측정하기 위해 상자블럭넣기 검사, 퍼글-마이어 평가, 퍼듀 페그보드를 실시하였다. 이러한 세 가지의 평가를 근거로 마비측 상지의 운동 손상 정도를 세 집단으로 구분하였다. 경미한 손상 그룹은 위의 세 가지 검사에서 모두 평균값 이상일 때, 심한 손상 그룹은 세 가지 검사에서 모두 평균값 이하일 때, 중증 손상 그룹은 위 두 집단의 경우에 속하지 않는 경우로 구분하였다(Feydy 등, 2002).

타판과제는 빠르고 단순한 반복동작(rapid simple repetitive movement)이며, 열린 고리의 움직임(open-looped movement)으로 우성 뇌반구의 운동 조절(lateralized motor control)에 관한 연구에 많이 사용되어진다(Hanna-Pladdy 등, 2002, Hermsdörfer 등, 1999, Farnè 등, 2003). 또한, 일반적으로 정해진 시간 내에 수행되는 최대 타판 횟수는 오른손과 왼손에서의 수행 차이가 심하고 우성 손(handedness), 연령, 성별에 따른 변화가 많기 때문에 타판 간 반응 시간 간격의 표준편차를 이용한 변화 계수(coefficient of variation)를 사용하였다(Hermsdörfer 등, 2002). 움직임의 시간적 일관성에 대한 조절(control of variation)은 운동 체계의 중요한 기능 중의 하나이고(Schmidt 등, 1976; Meyer 등 1990; Newell 등 1993) 운동 조절의 발달에서 아동기와 노년기에는 이러한 시간적 일관성이 떨어진다고 하였다. 이와 같이 타판 간 반응 시간 간격에 대한 표준 편차(standard deviation of intertap interval)를 이용한 변화 계수는 운동 조절의 고유한 특성을 연구하는데 많이 사용되고 있다(Daling, 1987)

추적과제는 시각과 손의 협응력(hand-eye coordination)을 요구하는 시지각 동작(visuospatial movement)이며 시각적 되먹임을 요구하는 닫힌 고리 움직임(closed looped movement)으로 설명된다(Harvey 등, 1994)

동전 돌리기는 정밀함(precision)과 기민성(dexterity)이 필요한 복잡한 연속적인 동작(complex sequential movement)을 측정하는데 사용된다(Hanna-Pladdy 등, 2002).

손상된 뇌반구의 동측 상지를 측정한 결과 정상군과 비교하여 환자군의 동측 상지에서 운동 결합이 존재하는 것으로 나타났다. 손목 관절의 타판과제에서 우반구 뇌손상군의 오른손(13.33ms)과 정상인의 오른손(10.12ms)을 비교한 결과 통계학적으로 유의한 차이가 없었으나 좌반구 뇌손상군의 왼손(40.71ms)과 정상인의 왼손(19.72ms)을 비교한 결과에서는 유의한 차이가 있었다. 따라서 타판을 수행하는 동안 일관되지 않은 속도와 비율로 비정상적인 운동가변성(abnormal motor variability)을 나타낸 결과로 해석된다. 이는 타판을 수행하는 동안 타판 횟수는 동측 운동 결합을 측정하는데 민감도가 떨어지고 타판 간 반응시간의 간격에서 좌반구 뇌손상에서만 유의한 차이가 관찰되었다는 선행 연구자들의 연구와 일치하였

다(Roy 등, 1992; Hanna-Pladdy 등, 2002; Hermsdörfer 등, 1999). 추적과제에서는 우반구 뇌손상군(12.69)과 좌반구 뇌손상군(15.77) 모두에서 정상인(C-RT:9.02, C-LT:9.02)과 비교하여 많은 수행 오차를 보였으며 동전 돌리기 과제에서도 우반구 뇌손상군(21.58회)과 정상인(C-RT:22.72회, C-LT: 20.98회)의 비교에서는 유의한 차이는 없었으나, 좌반구 뇌손상군(17.26회)과 정상인의 비교에서는 유의한 차이가 발견되었다. Z-score를 이용한 우반구 뇌손상군과 좌반구 뇌손상군의 직접적인 비교에서<Fig III.4> 세 가지 과제 모두 좌반구 뇌손상군에서 훨씬 더 많은 동측 상지의 운동 결함을 보였다. 그러나 추적과제는 우반구 뇌손상군과 좌반구 뇌손상군 모두에서 정상인과 비교하여 운동 손상이 발견되었다. 이는 수행하는 과제의 복잡성과 난이도가 높아지면 우반구 뇌손상군과 좌반구 뇌손상군 모두에서 문제를 보이며(winstein, 1997) 시지각 움직임에서는 좌반구 뇌손상군 뿐만 아니라 우반구 뇌손상군에서도 동측 상지의 운동 결함이 있다는 Hermsdörfer의 연구와 일치하였다(Hermsdörfer와 Goldenberg, 2002).

따라서 본 연구에서는 특정 동작에 한정된 각기 다른 형태(specificity of task)의 세 가지 과제인 빠르고 단순한 반복적인 움직임, 연속적인 복잡한 움직임, 시지각 협응력을 요구하는 움직임이 편측 뇌손상을 가진 환자의 동측 상지에서 운동 결함을 보였고 우반구 뇌손상군보다 특히 좌반구 뇌손상군에서 더 많은 운동학적 결함이 있다는 결과를 보였다.

이와 같은 결과를 토대로, 편측 뇌손상 후 동측 상지에 운동 결함이 일어나고, 특히 좌반구 뇌손상군에서 더 심한 결함을 보이는 원인으로,

과제의 복잡성과 난이도가 높은 동작의 수행 시 양측 뇌반구가 동시에 기여한다는 가설이다. 기능적 자기공명영상(fMRI)를 이용한 뇌지도화 연구에서 복잡한 편측 과제(complex unimanual task)의 수행은 반대측 뇌반구의 활성화 뿐 아니라 동측의 뇌반구에서도 활성도가 나타난다(Sadato 등, 1996; Catalan 등, 1998; Pujol 등 2000; Lotze 등 2003). 또한 과제의 수행 난이도(task difficulty)를 어렵게 할수록 양측 뇌반구의 활성화는 증가하고 동측 상지의 운동 결함 정도가 더 심하게 나타났다(Shibasaki 등, 1993; Winstein 등, 1997). 이와 관련하여 동측 상지의 운동 결함을 연구한 많은 연구자들(Winstein 등, 1995; Pohl 등, 1997; Kim 등, 2003)은 목표 지향 표적 동작(goal-direct target movement)과 같은 복잡한 움직임은 양측 뇌반구의 역할이 수반되어야 하는데 편측 뇌손상으로 인해 고위 인지 기능의 처리 능력 중앙 처리 능력(central processing)의 손상으로 동측 상지의 운동 결함이 유발된다고 하였다.

또 다른 원인으로 뇌신경회로에서 동측성으로 존재하는 상하행 신경로의 손상이다. Wasserman 등(1992)은 양측성으로 지배하는 신경로인 전정척수로와 망상척수로는 견갑대와 상지의 원위부에 대한 운동 조절 뿐 아니라 동측 상지의 손까지 관여를 한다고 하였고 Dobkin(1993)은 시상, 변연계, 기저핵은 양측의 손 기능에 영향을 미친다고 보고하였다. 그리고 Jung 등(2002)은 양측성 지배를 받는 상지의 근위부는 경한 손상과 함께 빠른 회복을 보이는 반면, 말초 부위인 손의 기능은 심각한 손상과 느린 회복을 유발한다고 보고 하였다.

따라서 이와 같은 결론은 신경로와 뇌 신경핵들의 손상은 동측 상지의 기능에 손상을 유발한다는 것은 분명하다. 인체의 말초에서 대뇌 피질로 이어지는 양측성 또는 동측의 감각신경로가 좌우로 교차되어지는 것도 그 원인이라 할 수 있다.

그 외의 원인으로 운동 체계의 비대칭성이 동측 상지의 운동 결함에 영향을 미친다는 것이다. 언어에 대한 뇌의 우성(lateralization)은 좌반구이며 시공간적 개념에 대한 우성은 우반구라는 사실은 이미 널리 알려진 사실이다(Harvey 등, 1994; Goodale 등, 1986). 그러나 공간지각력의 우성화에 대하여 우반구는 인체의 정중선을 기준으로 좌측과 우측 공간 모두 관찰하지만, 좌반구는 오른쪽 공간에 대해서만 관찰한다고 하였다(Mesulam, 1985; Mesulam, 1999). 따라서 좌반구의 손상으로 편측 무시증(unilateral spatial neglect)이 나타나지 않지만 공간지각력의 우성뇌인 우반구의 손상으로 왼쪽 공간에 대한 무시(neglect)와 이에 따른 공간에 대한 집중력의 감소(inattention)가 주요한 증상이 된다(Mesulam, 1985). 이와 같이 좌우 뇌반구의 기능적인 비대칭성이 운동 체계에서도 존재한다. Liepmann(1907)은 우성인 손이 오른쪽인 좌측 또는 우측 편마비 환자 83명을 대상으로 손상 받은 뇌반구의 동측 상지에서 실행증을 검사한 결과에서 우반구 손상을 가진 환자는 전혀 실행증을 보이지 않았고 단지 좌반구 손상 환자에서만 실행증을 보였다고 보고하였다. 따라서 뇌손상 후 손상된 뇌반구의 반대측 상지 뿐 만 아니라 동측의 상지에서도 숙련된 동작(skilled movement)을 정확히 수행하지 못하는 동측 상지의 운동 결함에 대해 처음으로 보고하였다. 그는 이러한 결과에 대한 해석을 동작에 대한 개념과 공식(movement formulae)은 오른손잡이의 경우 왼쪽 뇌에서 우성화되며 오른쪽 상지와 손에 직접적인 영향을 미치지만, 왼쪽 상지와 손은 뇌량에 의해 좌반구로부터 간접적인 영향(indirect assess)을 받기 때문이라고 생각하였다.

그러나 첫 번째와 두 번째 원인으로 제시된 과제 수행의 난이도에 따른 양측 뇌반구의 역할과 양측성으로 존재하는 신경회로의 해부학적 손상으로 인한 가설은 여러 선행 논문과 본 연구의 결과를 보면 상반된 점이 있다. 양측 뇌반구의 역할로 인해 동측 상지의 운동 결함이 존재한다고 보고한 Winstein 등(1995), Pohl 등(1997), Kim 등(2003)은 우반구 뇌손상군과 좌반구 뇌손상군을 비교하는 연구 설계를 하지 않았고 단순한 움직임의 수행에서도 동측 뇌반구에서 활성화된다는 Kim(1993)의 연구를 비롯하여 본 연구에서도 단순한 타판과제에서 동측 운동 결함이 발생하였다. 따라서 이러한 가설은 좌반구 뇌손상군과 우반구 뇌손상군의 비교에서 좌반구 뇌손상군에서 특히 더 심각한 동측 운동 결함을 보이는 것과 단순한 과제의 수행에서도 동측 운동 결함이 발생한다는 것에 대한 설명은 충분하지 않다. 또한 양측 지배 신경로의 손상과 비특정적인 영향 및 해리로 인한 뇌신경회로망의 해부학적인 손상으로 해석하는 가설은 좌우 동측성 상지의 운동 결함 정도가 비슷해야 한다. 그러나 좌반구 뇌손상군에서 보다 심한 동측 운동 결함을 보인 것에 대해서 설명하기 어렵다(Hermsdörfer 등, 1999).

그러나 우성화와 신경회로의 기능적 대칭성은 동측성 운동 결함에 대해 보다 명확한 이유를 설명해 준다. 경두개자기자극(TMS)을 이용한 연구에서, 오른손이 우성인 정상인에서 좌



측 상지보다 우측 상지의 신경 경로의 역치 수준이 더 낮다고 하였고(Triggs 등, 1994) 자기공명영상의 판독에서 브로드만 영역 4중 좌·우 손의 영역에 해당하는 일차운동피질의 꼭지(central knob)에서 좌우 크기가 다르다고 하였다(Foundas 등, 1995). 이와 같이 인간의 운동 체계에서는 엄연히 기능적 또는 해부학적 대칭성이 명확히 존재한다는 것이다.(Leslie 등, 1999). 운동 체계의 비대칭성을 토대로 좌반구에서 좌측 손으로 연결되는 왼쪽 동측 운동 신경로와 오른쪽 동측 운동 신경로의 기능적 역할이 서로 다르다는 연구 결과가 있다. Kim 등(1993)은 10명의 오른손잡이와 5명의 왼손잡이를 대상으로 반복적 대립 운동(repetitive opposition movement)을 수행하는 동안 기능적 자기공명영상을 이용하여 좌우 뇌반구에서 일어나는 뇌 활성화도의 차이를 실험하였는데 우성 뇌반구에서 두 그룹 모두 한쪽 손의 움직임에 대한 대측성 뇌 활성도를 보인 반면, 비우성 뇌반구에서는 두 그룹 모두 대측성과 동측성 뇌 활성화도(contralateral & ipsilateral hemispheric activation)를 보였다고 한다. 따라서 오른손이 우성인 정상인에서 좌반구에서 좌측 상지와 손으로 이어지는 동측 신경로가 반대측의 동측 신경로 보다 기능적으로 더 우세함을 나타내고 있다. 이는 좌반구가 오른손과 왼손 모두를 조절하도록 우성화되어 있다는 Liepmann(1907)의 가설과 일치한다. 그는 또한 숙련된 동작(skilled movement)을 위한 운동역학(movement kinematics)적 개념과 공식화(movement formulae)에 기여하도록 좌반구가 우성화되어 있음을 증명하고 있다. 따라서 편측 뇌손상 후 동측 상지의 운동 결함에 대한 원인은 운동 조절에 우성인 좌반구가 손상되면 기능적으로 활성화도가 높은 왼쪽 동측 신경로가 손상되어 동측인 좌측의 상지와 손의 기능에서 운동 결함이 발생된다고 생각된다. 본 연구의 결과는 편측 뇌손상 환자에서 빠르고 단순한 반복 동작, 시지각 동작, 복잡한 연속적인 동작의 수행 시 동측 상지의 운동 결함이 존재하고 우반구 뇌손상보다 좌반구 뇌손상을 받은 군에서 더 심한 손상을 나타냈다.

## V. 결론

편측 뇌손상 환자에서 빠르고 단순한 반복동작, 시지각 동작, 복잡한 연속적인 동작의 수행 시 동측 상지의 운동 결함이 존재하고 우반구 뇌손상보다 좌반구 뇌손상을 받은 군에서 더 심한 손상을 보였다.

그 원인으로 운동 조절에 우성인 좌반구가 손상되면 기능적으로 활성화도가 높은 왼쪽 동측 신경로가 손상되어 동측인 좌측의 상지와 손의 기능에서 운동 결함이 발생된다고 생각된다. 이러한 동측 상지의 운동 결함은 임상적으로 중요한 의미를 가질 수 있다. 하지만 대다수의 환자, 가족 및 의료진들은 동측 상지의 운동 결함이 수행 시간에는 차이를 보이지만 동측 상지를 이용한 일상생활에 큰 문제를 보이지 않는다고 생각하고 있으며, 대부분의 치료 형태가 마비측에 대한 집중적인 치료로 진행되고 있다(Sunderland, 2000). 따라서 동측 상지의 손상에 대한 적절하지 못한 대응은 마비측의 기능장애로 인한 동측에서의 보상적 전략

(compensatory strategy)이나 적응 전략(adaptative strategy)을 계획하는데 있어서 섬세한 움직임을 필요로 하는 일상생활동작에 어려움을 초래하고 기능의 회복을 느리게 만든다. 더구나, 정상인에 있어서 우측 상지가 우성인 비율이 90% 이상(강연욱, 1994)이므로 좌반구 뇌손상에 따른 비우성 좌측 상지의 운동 손상은 환자 개인의 섬세한 기술과 기민성이 요구되는 일상생활동작의 독립적 수행을 더욱 어렵게 만든다.

이러한 결과들을 종합하여 볼 때 좌반구 뇌손상 환자에서 정상측으로 간주되어온 좌측 상지 기능의 평가는 보다 세밀하게 이루어져야 하며 그 결과를 바탕으로 동측 상지에 대한 치료적 계획을 세우는 것과 적절한 훈련 및 치료적 중재에 의한 기능적 능력을 증진시키는 것은 효과적인 치료를 위한 중요한 기틀을 제공할 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

- 강연욱 : 누가 왼손잡이인가?: 한국인들의 손잡이 평가. 한국심리학회지 13 97-113, 1994.
- Brodal A : Self observation and neuro-anatomical considerations after a stroke. Brain 96 675-694, 1973.
- Catalan MJ, Honda M, Weeks RA et al : The functional neuroanatomy of simple and complex sequential finger movement: a PET study. Brain 122 253-264, 1998.
- Chollet F, Peiro VD, Wise RJS et al : The functional anatomy of motor recovery after stroke in humans : a study with PET. Ann Neurol 29 63-71, 1991.
- Colebatch J & Gandeva SC : The Distribution of muscular weakness in upper motor neuron lesion affecting the arm. Brain 112 749-763, 1989.
- Cromwell FS : Occupational therapist's manual for basic skill assessment : Primary Prevocational Evaluation. Fair Oaks, 1976.
- Danilo Y : Hemispheric specialization in the co-ordination of arm and trunk movements during pointing in patients with unilateral brain damage. Experimental Brain Research 148 488-497, 2003.
- Darling WG, Cooke JD, Harding AE et al : Changes in the variability of movement trajectories with practice. Journal of Motor Behavior 19 291-309, 1987.
- Debaere FD, Assche V, Kiekens C et al : Coordination of upper and lower limb segments: deficits on the ipsilesional side after unilateral stroke. Exp Brain Res 141 519-529, 2001.
- Dobkin BH : Neuroplasticity. Western J Med 159 56-60, 1993.
- Feydy A, Carlier R, Roby-Brami A et al : Longitudinal study of motor recovery after stroke: Recruitment and focusing. Stroke 33 6, 2002.
- Farné AC, Roy Y, Paulignan G et al : Visuo-motor control of the ipsilateral hand :

- evidence from right brain-damaged patients. *Neuropsychologia* 41 739-757, 2003.
- Foundas AL, Hong K, Loenard CM et al : Hand preference and MRI asymmetries of the human central sulcus. paper presented at Society for Neuroscience meeting, 1995.
- Fugl-Meyer AR, Jaasko L, Leyman I et al : The post-stroke hemiplegic patient. 1. a method for evaluation of physical performance. *Scand J Rehabil Med* 7 13-31, 1975.
- Goodale MA, Pelisson D, Prablanc C : Large adjustments in visually guided reaching do not depend on vision of the hand or perception of target displacement. *Nature* 320 748-750, 1985.
- Haaland KY & Delaney HD : Motor deficits after left or right hemisphere damage due to stroke or tumor. *Neuropsychologia* 19 17-27, 1981.
- Haaland KY, Harrington DL, Knight RT : Spatial deficits in ideomotor limb apraxia: a kinematic analysis of aiming movements. *Brain* 122 1169-1182, 1999.
- Haaland KY, Harrington DL, Yeo R : The effects of task complexity on motor performance in left and right CVA patients. *Neuropsychologia* 25 783-794, 1987.
- Hanna-Pladdy B, Mendoza JE, Apostolos GT et al : Lateralised motor control : hemispheric damage and the loss of dexterity. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry* 73 574-77, 2002.
- Harvey M, Milner AD, Roberts RC : Spatial bias in visually-guided reaching and bisection following right cerebral stroke. *Cortex* 30 343-50, 1994.
- Hermsdörfer J, Laimgruber K, Kerkhoff G et al : Effects of unilateral brain damage on grip selection, coordination, and kinematics of ipsilesional prehension. *Experimental Brain Research* 128 41-51, 1999.
- Hermsdörfer J, Ulrich S, Marquardt C et al : Prehension with the ipsilesional hand after unilateral brain damage. *Cortex* 35 139-61, 1999.
- Hermsdörfer, J & Goldenberg G : Ipsilesional deficits during fast diadochokinetic hand movements following unilateral brain damage. *Neuropsychologia* 40 2100-2115, 2002.
- Jang SH, Byun WM, Chang Y et al : Combined functional magnetic resonance imaging and transcranial magneticstimulation evidence of ipsilateral motor pathway with congenital braindisorder : a case report. *Arch Phys Med Rehabil*, 82 1733-1736, 2001.
- Jang SH, Kim YH, Cho SH et al : Cortical reorganization associated with motor recovery in hemiparetic stroke patients. *Neuroreport* 18 1305-1310, 2003.
- Jung HY, Shik YJ, Park BS : Recovery of Proximal and distal arm weakness in the ipsilateral upper limb after stroke. *NeuroRehabilitation* 17 153-159, 2002.
- Kim SG, Ashe J, Hendrich K et al : Functional Magnetic Resonance Imaging of Motor

- Cortex : Hemispheric Asymmetry and Handedness. *Science* 261 615-616, 1993.
- Kim SH, Pohl PS, Luchies CW et al : Ipsilateral deficits of targeted movements after stroke. *Archives Physical Medicine Rehabilitation* 84 719-714, 2003.
- Leslie J, Gonzalez R, Kenneth M et al : *Apraxia : The Neuropsychology of action*, Taylor & Francis Ltd, 1999.
- Liepmann H, Mass O : Fall von linksseitiger Agraphie und Apraxie bei rechtsseitiger Lahmung. *Zeitschrift für Psychologie und Neurologie* 10 214-227, 1907. In: Leslie J, Gonzalez R, Kenneth MH : *Apraxia: The Neuropsychology of Action*, Psychology Press, 1997.
- Lotze M, Scheler G, Tan HR et al : The musician's brain: functional imaging of amateurs and professionals during performance and imagery. *Neuroimage* 817-829, 2003.
- Marque P, Felez A, Puel M et al : Impairment and recovery of left motor function in patients with right hemiplegia. *Journal of Neurology , Neurosurgery, and psychiatry* 62 77-81, 1997.
- Mesulam MM : Attention, confusional states, and neglect. in : Mesulam MM, ed. *Principles of Behavioral Neurology*. FA Davis Co : 125-168, 1987.
- Mesulam MM : Spatial attention and neglect: parietal, frontal and cingulate contributions to the mental representation and attentional targeting of salient extrapersonal events. *Phil Trans R Soc Lond B* 354 1325-1346, 1999.
- Meyer DE, Smith JEK, Kornblum S et al : Speed-accuracy tradeoffs in aimed movements: towards a theory of rapid voluntary action. In: Jeannerod M, editor. *Attention and performance. Motor representation and control*, Lawrence Erlbaum, 173-226, 1990.
- Newell KM & Corcos DM : *Variability and motor control*. Human Kinetics Publishers, 1993.
- Oldfield RC : The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh handedness inventory. *Neuropsychologia* 9 97-113, 1971.
- Pohl PS, Winstein CJ, Onla-or S : Sensory-motor control in the ipsilesional upper extremity after stroke. *NeuroRehabilitation* 9 57-69, 1997.
- Pujol J, Roset-Llobet J, Rosines-Cubells D et al : Brain cortical activation during guitar-induced hand dystonia studied by functional MRI. *NeuroImage*, 12 257-67, 2000.
- Roy EA, Clark P, Aigbogun S et al : Ipsilesional disruptions to reciprocal finger tapping. *Archives of Clinical Neuropsychology* 7 213-219, 1992.

- Sadato N, Campbell G, Ibanez V et al : Complexity affects regional cerebral blood flow change during sequential finger movement. *J neurosci* 16 2691-2770, 1996.
- Schmidt RA, Zelaxnik HN, Kawkins B et al : Motor-output variability:a theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychological Review* 86 415-441, 1976.
- 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* 116 1387-1398, 1993.
- Staudt M, Grodd W, Gerloff C : Two types of ipsilateral reorganization in congenital hemiparesis : a TMS and fMRI study. *Brain* 125 2222-2237, 2002.
- Sunderland A : Recovery of ipsilateral dexterity after stroke. *stroke* 31 430-433, 2000.
- Sunderland A, Bowers MP, Sluman SM et al : Impaired dexterity of the ipsilateral hand after stroke and the relationship to cognitive deficit. *Stroke* 30 949-955, 1999.
- Triggs WJ, Calvanio R, Macdonell RAL et al : Physiological motor asymmetry in human handedness ; Evidence from transcranial magnetic stimulation. *Brain Research* 636 270-276, 1994.
- Wassermann EM, Mcshane LM, Hallett M et al : Noninvasive mapping of muscle representations in human motor cortex. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 85 1-8, 1992.
- Winstein CJ, Grafton SMT, Pohl PS : Motor task difficulty and brain activity : Investigation of goal-directed reciprocal aim in using positron emission tomography. *Journal of Neurophysiology* 77 1581-1594, 1997.
- Winstein CJ & Pohl PS : Effects of unilateral brain damage on the control of goal-directed hand movements. *Experimental Brain Research* 105 163-174, 1995.