

무릎 관절 추적 과제에 따른 편마비 환자의 운동조절 비교

정이정

연세대학교 대학원 재활학과

조상현, 전해선

연세대학교 보건과학대학 물리치료학과 및 보건과학 연구소

Abstract

The Comparison of Motor Control During Tracking in the Knee Joint of Subjects With Stroke

Yi-jung Chung, M.Sc., P.T.

Dept. of Rehabilitation Therapy, The Graduate School, Yonsei University

Sang-hyun Cho, Ph.D., M.D.

Hye-seon Jeon, Ph.D., P.T.

Dept. of Physical Therapy, College of Health Science, Yonsei University

Institute of Health Science, Yonsei University

Tracking is an experimental paradigm that can be used to study information processing in continuous movements involving accurate, ongoing control of motor performance. The purpose of this study was to identify the effects of knee tracking performance. Six patients with hemiplegia and six age-matched controls participated in the study. The tracking test was administrated. It was composed with regular ranges of 0° to 40° and randomized range .2 to .4 Hz. Using the Mann-Whitney U test, a comparison was made between subjects who had suffered from stroke and subjects who were well coordinated. The Wilcoxon Matched Pairs Signed Ranks Test was used to compare and analyze the paretic and nonparetic sides of the stroke patients. The results of study were as follows: accuracy index of the tracking test was significantly higher on the control side than paretic and nonparetic sides. Accuracy index scores were significantly higher for nonparetic sides with stroke compared with paretic sides with stroke. This study shows tracking is impaired in paretic and nonparetic knee of subjects with stroke.

Key Words: Accuracy Index (AI); Knee; Stroke; Tracking.

I. 서론

일반적으로 추적 수행(tracking performance)은 인간의 연속적인 움직임(continuous movement) 연구를 위한 잘 통제된 효과적인 실험실 패러다임(paradigm)으로 생각되었다(Knight, 1987; Viviani 등, 1987). 이것은 자극된 자극들에 반응하여 자극의 확인(stimulus identification)과 반응의 선택(response selection)을 통해 운동

프로그래밍(motor programming) 단계를 거쳐 목적 있는 움직임을 수행 할 수 있는 인지적 활동을 말한다(Carey 등, 1998; Schmidt, 1991; Viviani 등, 1987). 따라서 추적 과제(tracking task)는 정상인과 뇌졸중 환자 및 파킨슨 환자들 다양한 조건에서 사지의 굽힘과 펴는 반복하는 동안 정보 처리(information processing) 능력을 측정할 수 있는 검사도구로 사용되었다(Carey 등, 1998; Carey 등, 2002a; Carey 등, 2002b; Carey 등, 2004).

Carey 등(2002a)은 추적 훈련이 편마비 환자의 손 움직임 회복과 피질의 재조직화(reorganization)가 이루어진다는 가설을 바탕으로 환측의 검지 손가락에서 기능적 자기공명영상(functional magnetic resonance images)검사를 통해 뇌반구의 활성화가 증가됨을 보고하였고, 추적의 정확도(accuracy)와 쥐기(grasp) 및 펴기(release) 기능이 증가됨을 밝혔다.

많은 연구들을 통해 편마비 환자들이 불연속적인 움직임(discrete movement)을 하는 동안 동측의 사지에서도 정상인에 비해 반응 시간(reaction time)이 지연되고 정보 처리 능력에 장애가 있다고 보고되었다(Anzola와 Vignolo, 1992; Dickstein 등, 1993). 이를 바탕으로 최근에는 동측 상지가 파악력 검사와 기민성(dexterity) 검사에서 정상군과 비교하여 유의한 차이가 있다고 제시되었다(Chae 등, 2002; Sunderland 등, 1999). 또한 추적 과제와 같은 연속적인 움직임을 하는 동안 동측 사지에서 특별한 인지 변환(mental transformation)을 요구하는 정보 처리 연구가 없었으나, Carey 등(1998)의 연구에서 뇌졸중 환자들의 건축과 정상인의 손에서 조절능력의 차이를 비교한 결과, 정상인에 비해 건축에서 운동 약화(motor weakness)와 구분되는 정확도가 유의하게 낮게 나타났다고 밝혀졌다.

편마비 환자들은 움직임을 시작하고 조절하며 효과적이고 효율적인 회복을 위해 고유수용성 감각과 운동 감각 정보의 활성화가 우선시 되어야한다(Barrett 등, 1991; Lephart 등, 1992). 특별히 고유수용성 감각은 보행시 근육의 동원(muscle recruitment)에 영향을 주기 때문에(Courtine 등, 2001; Lin, 2005; Nurse와 Nigg, 1999), 상지뿐만 아니라 하지에서도 시공간적인 되먹임(visuo-spatial feedback)을 적용한 고유수용성 감각을 촉진하는 추적 평가와 훈련의 효과에 관한 연구가 필요하다(Carey 등, 2004).

또한 과거 연구들은 대부분 일정한 속도의 표적 과형을 반복적으로 수행하여 평가하였다(Carey 등, 1998; Carey 등, 2002a; Carey 등, 2002b; Carey 등, 2004). 그러나 일정한 움직임의 속도와 크기의 추적 훈련 방법은 변형된 조건(condition)에서 적응력(adaptability)이 떨어지기 때문에, 무작위적인 과형을 이용한 평가와 훈련이 효과적이라고 하였다(Shumway-Cook과 Woollacott, 2001). 이것은 예기치 못하거나 변화된 다양한 조건에서 훈련을 통해 적응력을 증가시킬 수 있고 학습 효과

(learning effect)를 최대한 줄일 수 있는 이점이 있다(권용현 등, 2005; Sadato 등, 1996; Shumway-Cook과 Woollacott, 2001).

본 연구는 뇌졸중 환자의 보행을 목표로 하는 하지의 협응력(coordination)과 조절능력의 평가와 훈련 효과를 알아보기 위한 기초자료 연구로서, 뇌졸중 환자와 정상인의 무릎 관절에서 무작위적인 추적 과제를 통해 수행의 정확도 지수를 비교하고자 한다. 따라서 본 연구에서는 뇌졸중 환자와 정상인 간에 운동 조절 능력의 차이가 나타날 것이며, 일정한 과형의 추적 과제처럼 무작위적인 추적 과제도 정확도를 측정할 수 평가도구로 활용됨을 제시할 것이다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 뇌졸중으로 인한 편마비 환자들로 원주 기독교병원 재활의학과에서 치료를 받고 있는 6명(남 4명, 여 2명)을 대상으로 실시하였으며, 정상인은 6명(남 4명, 여 2명)을 대상으로 실시하였다.

본 연구에 참가하는 환자의 선정 조건은 다음과 같다. 가. 일차로 발병한지 최소 6개월 이상인 환자 나. 병변이 한쪽으로 국한된 편마비 환자 다. 심각한 지각, 인지, 편측무시, 감각 손상이 없는 환자 라. 연구자의 지시 내용을 이해하고 따를 수 있는 환자 실험 전 모든 연구 대상자들에게 본 연구의 목적과 방법에 대하여 충분히 설명한 후 자발적인 동의를 얻었다.

2. 측정도구 및 방법

가. 전기측각기(electrogoniometer)

무릎의 추적 훈련 동안 관절 각도 변화를 측정하기 위해 전기측각기를 사용하였으며, 이것은 두개의 단단한 팔이 용수철로 연결된 전기분압기(electrical potentiometer)구성되었다.

이 장비에서 나오는 아날로그 신호는 MP150 시스템¹⁾으로 보내져 디지털 신호로 전환된 다음 개인용 컴퓨터에서 Acqknowledge 소프트웨어를 이용하여 필터링과 기타처리를 하였다. 각도 신호의 표본 추출율(sampling rate)은 40 Hz 이고 1.5 Hz 저역필터(low pass filter)를 사용하였다.

나. 실험방법

전기측각기를 이용하여 편마비 환자의 건측과 환측 및 정상인의 좌우 무릎 관절에서 각각 추적과제를 실시하였다. 전기측각기는 회전축을 슬개골의 정중선, 고정팔(stationary arm)은 외측과에서 대전자(greater trochanter)를 잇는 선 위에 평행하게 슬개골 중앙선을 따라 대퇴부 위에 놓고, 이동팔(moving arm)은 경골 능선(tibia crest)을 따라 놓았다. 전기측각기는 무릎이 90°로 굴곡된 상태를 90°로 설정하였으며, 곧게 선 자세를 0°로 정하여 영점조정(calibration)을 하였다. 먼저 연구자가 시범을 보이고, 대상자가 준거 사인파를 정확하게 수행하도록 대상자에게 무릎관절의 수동운동을 시켜준 다음, 스스로 3회 연습하도록 하였다.

준거 사인파는 0~40°로 슬관절의 굴곡과 신전 각도가 일정하고, 속도는 .2~.4 Hz에서 무작위적으로 변화도록 프로그램을 설정하여 추적과제를 실시하였으며, 양 발의 넓이가 20 cm의 일정한 지점에 발의 위치를 설정한 후 한쪽 다리를 가로 세로 높이 30 cm인 계단식 발판위에 올려놓은 상태로 체중지지 한 후 추적과제를 수행하였다. 검사 동안 대상자는 컴퓨터 화면으로부터 100 cm 후방에 130 cm 높이의 지지대에 양손을 가볍게 올려놓고 곧게 선 다음 검사를 실시하였다(그림 1). 실험 전 대상자들에게 실험의 절차에 대해 자세히 설명하

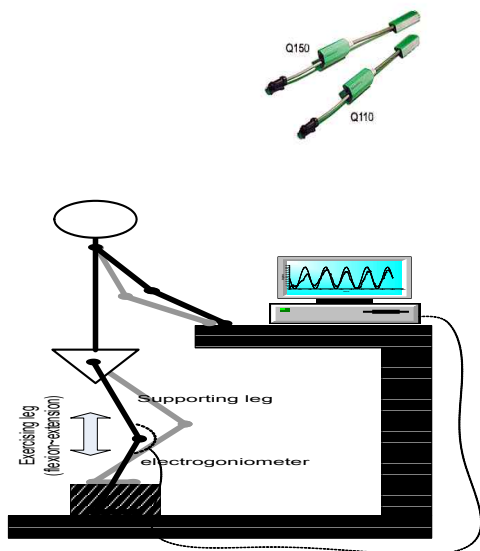


그림 1. 전기측각기(electrogoniometer)와 추적 과제 측정 방법

고, 연습을 수행한 후 평가하였다. 각각 1분 동안 측정하였으며 사이에 30초의 휴식시간을 두면서 3회 반복 측정하여 평균값을 구하였다.

다. 정확도 지수 측정방법

추적과제의 수행은 준거 사인파와 대상자의 굴곡 신전의 정확도 지수(accuracy index: AI)를 구하여 운동 조절 능력을 정량화 하였다(그림 2). 정확도 지수는 대상자들의 움직임의 범위로 정규화 하여 준거 사인파와 대상자가 수행한 각도간의 정확성을 수식으로 정리하여 사용한 방법으로 공식은 다음과 같다(Carey 등, 2002a; Carey 등, 1998).

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

E는 준거 사인파와 반응선(response line)과의 수행 오차값(root mean square error: RMSE)이며, P는 준거 사인파와 반응선의 상행선과 하행선을 나누는 중앙선 사이의 RMSE 차이 값으로 대상자가 수행한 반응선의 패턴 크기(size)를 의미한다. P의 진폭(magnitude)은 수직 축의 범위를 말하며 대상자의 관절 가능 범위를 의미한다. 그러므로 정확도 지수는 대상자가 수행한 관절 가동 범위를 일반화하고 추적과제를 수행할 때 대상자간의 차이로 설명할 수 있다. 이 지수의 최대값은 100%이며, 음수의 지수는 준거 사인파와 반응선의 거리가 멀거나 중앙선을 넘어 반대 측으로 반응선이 나타나 오차 값이 클 때 발생한다.

3. 분석방법

추적 과제를 통한 집단간 정확도의 차이는 비모수 만휘트니 U 검정(Mann-Whitney U test)을 통해 검정하였으며, 집단내 환측과 건측의 차이는 비모수 윌콕슨 순위검정(Wilcoxon matched pairs signed ranks test)을 실시하였다. 분석 시 유의수준 α 는 .05로 정하였다. 자료의 통계처리는 상용 통계 프로그램인 윈도우용 SPSS version 12.0을 사용하였다.

III. 결과

1. 연구대상자의 일반적인 특성

연구대상자의 특성은 다음과 같다(표 1). 뇌졸중 환자의 평균나이는 47.8세, 정상인은 47.5세였고, 평균 신

1) BIOPAC System Inc., U.S.A.

장은 환자군이 168.7 cm, 정상군이 166.3 cm, 평균체중은 환자군이 71.5 kg, 정상군이 68.3 kg이었다.

표 1. 연구대상자의 일반적 특성 (N=12)

특성	환자군(n ₁ =6)	정상군(n ₂ =6)
나이(세)	47.8±5.0 ^a	47.5±7.1
성별(남/여)	4/2	3/3
마비측(좌/우)	3/3	
발병기간(개월)	40.0±9.5	
신장(cm)	168.7±7.1	166.3±13.1
체중(kg)	71.5±9.1	68.3±16.5

^a평균±표준편차

2. 무릎관절 추적과제의 집단내 및 집단간 정확도 지수

환자군의 무릎관절에서 환측과 건측의 수행한 추적과제의 정확도와 정상군의 수행결과를 비교하였다(그림 3). 정상군은 좌·우의 정확도 지수가 유의한 차이가 없었기 때문에 정상측은 좌·우 평균값을 사용하였다. 환자군의 추적과제 정확도 지수는 환측이 -32.1%, 건측이 -25.8%, 정상측이 8.0%로 나타났고, 건측이 환측보다 유의하게 정확도가 지수가 높았으며(p<.05), 정상측은 건측과 환측에 비해 유의하게 정확도 지수가 높게 나타났다(p<.05).

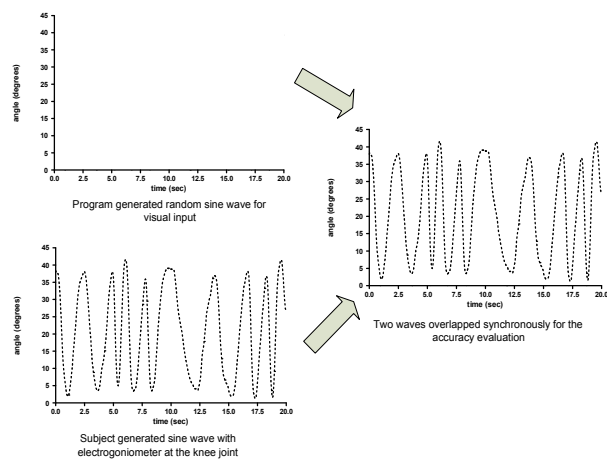
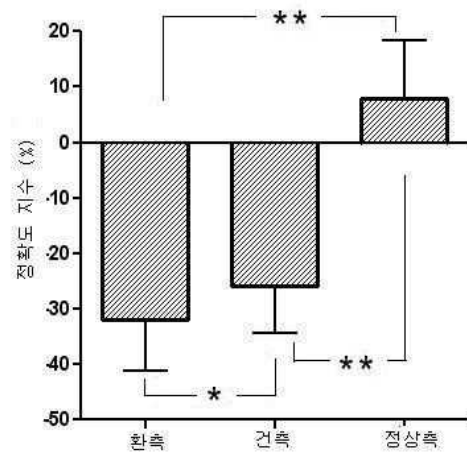


그림 2. 준거 사인파와 대상자가 수행한 각도간의 정확도 평가방법

IV. 고찰

본 연구는 만성 편마비 환자와 정상인들에서 무작위적인 과형의 추적 과제를 통해 무릎 관절에서의 정확도 지수(AI)를 비교하고자 하였다. 이런 차이점에 대한 분석은 무릎 관절에서 뇌졸중 환자와 정상인들의 운동 조절 능력의 차이를 측정할 수 있고, 추적 훈련을 통한 효과를 설명할 수 있는 평가 지표가 될 수 있을 것이다(권용현 등, 2005; Carey 등, 2004).

Carey 등(2002a)은 뇌졸중 환자를 대상으로 손의 움직임 회복과 피질의 재조직화를 알아보기 위해 집중적인(intensive) 손가락 움직임을 이용하여 추적 훈련을 해 본 결과, 치료 전 환측의 정확도 지수가 -18.0%, 정상인은 -11.4%로 평가된 것이 훈련 후 정확도 지수가 증가하였고, 반대측 뇌반구의 활성화가 나타났으며 쥐기와 잡기 기능이 증가하였다고 보고하였다. Carey 등(1998)은 뇌졸중 환자의 건측과 정상인의 손가락을 움직임과 같은 방향의 조건과 수평방향의 두 조건에서 각각 추적 과제를 수행하여 정확도를 비교한 결과, 움직임과 같은 방향의 조건에서 과제를 수행했을 때 정상측이 건측보다 유의하게 정확도 지수가 크게 나타났다고 제시하였다. 본 연구에서도 선행연구들의 결과처럼 정상측이 편마비 환자들의 환측과 건측 보다 정확도 지수가 유의하게 크게 나타났다. 이것은 운동중추기능(central executive function)들의 손상으로 인해 운동계



*Wilcoxon matched pairs signed rank test(p<.05)

**Mann-Whitney U test(p<.05)

그림 3. 무릎관절 추적과제의 정확도 지수(AI)

획(motor plan)들을 선택하고 프로그래밍을 하는 정보 처리 능력이 손실되었기 때문이다(Carey 등, 2002a). 또한 Rossini와 Pauri(2002)는 건측의 운동 결함의 원인을 명확하지는 않지만 뇌의 재조직과 관련되어 신경막(neuronal membrane)의 흥분성의 변화와 국소적인 억제제의 제거와 시냅스의 효율성 변화로 설명하였으며, 대뇌피질 척수로(corticospinal track)의 재조직화와 운동 단위(motor unit) 특성의 변화, 척수 사이 신경원의 활성화 등과 같은 직접적인 신경학적 손상(neurological deficit)때문이라고 밝혔다(Adams 등, 1990; Newham과 Hsiao, 2001). 이와 함께 Ghez(1991)은 뇌손상으로 인한 운동 처리 능력을 담당하는 후두정엽피질과 전운동영역의 문제이며, 움직임 전략(strategy)과 실행(execution)을 담당하는 일차운동영역(primary motor area)과 전운동영역(premotor area)의 문제 때문이라 하였다.

하지에서의 연구는 Carey 등(2004)이 사례연구로 발목에서의 추적 훈련을 통해 정확도 검사와 함께 보행분석, 기능적 자기공명영상 평가를 한 결과, 환측에서 정확도 지수가 -10.2%였지만 훈련 후에 38.1%로 증가하였으며, 보행속도와 발목의 관절가동범위가 증가하였고, 피질 영역에서 유의하게 복셀(voxel) 수가 유의하게 증가하였음을 제시하였다.

한편 여러 연구자들은 건측 상지의 파악력 검사에서 정상군과 비교하여 유의한 차이가 나타났다고 보고하였다(Colebatch와 Gandeva, 1989; Sunderland 등, 1999). 이로 인해 정상인과 비교하여 건측에서는 기민성(dexterity)의 장애가 나타나며, 상지와 하지에서도 지절간 협응력이 손상되어 목표 지향적인 표적 동작(goal directed target movement)을 수행할 때 반응 시간(reaction time)이 지연되었다고 보고하였다(Debaere 등, 2001; Kim 등, 2003). 이것은 대뇌피질척수로 중 동측으로 내려가는 외측 대뇌피질척수로의 손상 때문이라는 주장이 있다(Muellbacher 등, 1999). Wassermann 등(1994)은 피질하 척수로(subcortical tract)인 망상척수로와 미로척수로(vestibulospinal tract)가 손 운동에 영향을 준다고 하였으며, 최근에도 병변 동측에서 근력 및 민감도, 운동 협응력 등이 정상군보다 감소된다고 보고하였다(김혜원 등 2000; Sunderland 등, 1999).

추적 과제는 외적 되먹임(feedback)으로 신체의 변화를 신체 외부에서 감지하여 나타내는 정보로서, 이는 정상인들의 운동 학습을 위해 광범위하게 사용되었고 운동 학습의 효과를 높이는 효과적인 운동 학습 변수로

알려졌다(Rose, 1997; Schmidt, 1991). 이것은 복잡하고 다양한 난이도를 제시함으로써 환자 스스로의 시공간적 정보의 처리 능력의 개선을 중요시한다. 본 연구에서는 무작위적인 과형의 추적 과제를 시행하여 검사하였다. 운동학습 효과와 관련하여 새로운 과제를 수행할 수 있는 능력은 변하지 않는 일정한 조건에서의 훈련보다는 다양한 조건에서의 훈련에서 오차가 적게 나타났다(McCracken과 Stelmach, 1977). 또한 다양한 훈련 조건에서 준거 과제는 획득(acquisition)하고 유지(retention)할 수 있는 능력을 평가한 후에도 오차가 더 적게 나타났다고 보고되었다(Shen와 Kohl, 1991). 이를 바탕으로 기능적 자기공명영상 연구를 통해 과제가 복잡하고 난이도가 높은 과제를 수행한 결과, 양측 뇌반구의 활성화가 나타나 무작위적인 과제가 뇌의 재조직화에 더 효과적임을 제시하였다(Catalan 등, 1998; Sadato 등, 1996).

체중을 지지한 상태에의 훈련은 고유수용성 감각을 자극하고 강화시켜 줌으로써 운동 조절 능력의 발현에 영향을 주며(Heiderscheit와 Rucinski, 2000; Lephart 등, 1992), 이러한 감각은 운동 기능과 연관된 보행 능력의 증진에도 영향을 줄 수 있다고 보고되었다(Lin, 2005). 또한 신체의 균형과 자세를 유지하게 하는 관절의 기계적 수용기와 과형의 시각적 입력들을 통해 나타난 반작용적인 신경근 활동들은 뇌간의 기능을 강화시켜 반복적인 움직임을 통해 대뇌피질이 자세와 움직임의 인지적 인식을 제공함으로써 운동패턴을 결정 할 수 있도록 도와준다고 제시되었다(Lephart 등, 1997). 따라서 본 연구에 나타난 편마비 환자의 무릎 관절에서 환측과 건측의 운동 조절 능력을 증가시키기 위해서는 고유수용성 감각을 효과적으로 자극시킬 수 있는 체중지지 자세에서의 추적 훈련이 필요할 것이다.

앞으로 편마비 환자의 하지에서 움직임 속도와 범위를 선택적으로 적용할 수 있는 무작위적인 과형을 이용한 추적 훈련을 실시하고, 보행과 같은 기능 평가와 자기공명영상을 이용한 뇌반구의 활성도를 측정하여 운동 조절에 효과적인 치료 방법에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

V. 결론

본 연구는 오차 감지의 반복적인 훈련과 운동 수행 시스템을 강화시키기 위해 개선된 무작위적 추적 과

제가 만성 편마비 환자와 정상인의 무릎에서 환측과 건측 및 정상측의 정확도에 각각 차이가 있음을 확인 할 수 있었다. 무릎 관절에서 추적 과제시 준거 사인파형과 수행한 정확도 지수는 환자의 건측과 정상측이 환자의 환측보다 크게 나타났으며($p < .05$), 정상측이 환자의 건측 보다 정확도 지수가 크게 나타났다($p < .05$). 뇌졸중 환자의 환측 및 건측의 무릎 관절에서 운동조절 능력을 증가시키기 위한 훈련이 필요하며, 효율적인 운동을 적용하기 위해서는 복잡성과 난이도가 높은 추적 훈련을 개발하여 운동계획과 운동학습에 효과적인 훈련 방법을 제시하는 것이 필요하겠다.

인용문헌

- 권용현, 최진호, 신화경 등. 편측 뇌손상 환자에서 동측 상지의 근위부 및 원위부의 운동 결함에 관한 분석. 한국전문물리치료학회지. 2005;12(1):71-79.
- 김혜원, 고영진, 강세운 등. 편마비 환자의 일측 대뇌병변이 병변 동측 상지기능에 미치는 영향. 대한재활의학회지. 2000;24(1):8-13.
- Adams RW, Gandevia SC, Skuse NF. The distribution of muscle weakness in upper motoneuron lesions affecting the lower limb. *Brain*. 1990;113(5):1459-1476.
- Anzola GP, Vignolo LA. Simple reaction time to lateralized visual stimuli is not related to the hemispheric side of lesion. *Cortex*. 1992;28:401-409.
- Barrett DS, Cobb AG, Bentley G. Joint proprioception in normal, osteoarthritic and replaced knees. *J Bone Joint Surg Br*. 1991;73:53-56.
- Carey JR, Anderson KM, Kimberley TJ, et al. fMRI analysis of ankle movement tracking training in subject with stroke. *Exp Brain Res*. 2004;154:281-290.
- Carey JR, Kimberley TJ, Lewis SM, et al. Analysis of fMRI and finger tracking training in subjects with chronic stroke. *Brain*. 2002a;125:773-788.
- Carey JR, Deskin KA, Josephson KT, et al. Sex differences in tracking performance in patients with Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil*. 2002b;83:972-977.
- Carey JR, Baxter TL, Di Fabio RP. Tracking control in the nonparetic hand of subjects with stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 1998;79:435-441.
- 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):253-264.
- Chae J, Yang G, Park BK, et al. Delay in initiation and termination of muscle contraction, motor impairment, and physical disability in upper limb hemiparesis. *Muscle Nerve*. 2002;25(4):568-575.
- Courtine G, Pozzo T, Schieppati M. Vibration after effect during human walking. *J Soc Biol*. 2001;195:443-446.
- Colebatch JG, Gandevia S. The distribution of muscular weakness in upper motor neuron lesions affecting the arm. *Brain*. 1989;112(3):749-763.
- 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):519-529.
- Dickstein R, Hocherman S, Amdor G, et al. Reaction and movement times in patients with hemiparesis for unilateral and bilateral elbow flexion. *Phys Ther*. 1993;73:374-385.
- Ghez C. Voluntary movement. In: Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, et al. eds. *Principle of neural science*, Appleton & Lange, 1991.
- Heiderscheid BC, Rucinski TJ. Biomechanical and physiological basis of closed kinetic chain exercises in the upper extremities. *Orthop Phys Ther Clinics North Am*. 2000;9:231-246.
- Kim SH, Pohl PS, Luchies CW, et al. Ipsilateral deficits of targeted movements after stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 2003;84:719-724.
- Knight JL. Manual control and tracking. In: Salvendy G, ed. *Handbook of human factors and Ergonomics*. New York, John Wiley & Sons, 1987.
- Lephart SM, Pincivero DM, Giraldo JL, et al. The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. *Am J Sports Med*. 1997;25:130-137.

- Lephart ED, Simpson ER, McPhaul MJ, et al. Brain aromatase cytochrome P-450 messenger RNA levels and enzyme activity during prenatal and perinatal development in the rat. *Brain Res Mol Brain Res.* 1992;16:187-192.
- Lin SI. Motor function and joint position sense in relation to gait performance in chronic stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005;86:197-203.
- McCracken, HD, Stelmach GE. A test of the schema theory of discrete motor learning. *J Motor Behavior.* 1977;9:193-201.
- Muellbacher W, Artner C, Mamoli B. The role of the intact hemisphere in recovery of midline muscles after recent monohemispheric stroke. *J Neurol.* 1999;246:250-256.
- Newham DJ, Hsiao SF. Knee muscle isometric strength, voluntary activation and antagonist co-contraction in the first six months after stroke. *Disabil Rehabil.* 2001;23(9):379-386.
- Nurse MA, Nigg BM. Quantifying a relationship between tactile and vibration sensitivity of the human foot with plantar pressure distributions during gait. *Clin Biomech.* 1999;14:667-672.
- Rose DJ, A Multilevel Approach to the Study of Motor Control and Learning. Allyn and Bacon. 1997.
- Rossini PM, Pauri F. Neuromagnetic integrated methods tracking human brain mechanisms of sensorimotor areas 'plastic' reorganisation. *Brain Res Brain Res Rev.* 2000;33:131-154.
- Sadato N, Campbell G, Ibanez V, et al. Complexity affects regional cerebral blood flow change during sequential finger movements. *J Neurosci.* 1996;16(8):2691-2700.
- Schmidt RA. Motor learning principles for physical therapy. In: Lister MJ, ed. *Contemporary Management of Motor Control Problems: Proceedings of the II Conference.* Alexandria VA, APTA, 1991.
- Shea CH, Kohl RM. Composition of practice: Influence on the retention of motor skills. *Res Q Exerc Sport.* 1991;62(2):187-195.
- Shumway-Cook A, Woollacott MH. *Motor Control: Theory and Practical Applications.* 2nd ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2001.
- Sunderland A, Bowers MP, Sluman SM, et al. Impaired dexterity of the ipsilateral hand after stroke and the relationship to cognitive deficit. *Stroke.* 1999;30:949-955.
- Viviani P, Campadelli P, Mounoud P. Visuo-manual pursuit tracking of human two-dimensional movements. *J Exp Psychol Hum Percept Perform.* 1987;13:62-78.
- Wassermann EM, Pascual-Leone A, Hallett M, et al. Cortical motor representation of the ipsilateral hand and arm. *Exp Brain Res.* 1994;100(1):121-132.

논문접수일 2005년 4월 20일

논문게재승인일 2005년 8월 20일