

무릎관절 추적훈련이 편마비 환자의 보행에 미치는 영향

신화경

연세대학교 대학원 재활학과

염호준

연세대학교 대학원 의공학과

조상현

연세대학교 보건과학대학 물리치료학과 및 보건과학연구소

장성호

영남대학교 의과대학 재활의학과

Abstract

Effects of Knee Tracking Training on Gait in Stroke Patients

Shin Hwa-kyung, M.Sc., P.T.

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

Yeom Ho-joon, M.Sc.

Dept. of Biomedical Engineering, The Graduate School, Yonsei University

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

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

Institute of Health Science, Yonsei University

Jang Sung-ho, M.Sc., M.D.

Dept. of Rehabilitation Medicine, College of Medicine, Yeungnam University

Manual 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 training, using the paretic side, on gait in stroke patients. Nine patients with hemiplegia participated in the study. The timed 10 m gait speed test and tracking test were administered. The tracking test was composed with ranges of -20° to 20° and 0° to 60° . The tracking training consisted of five times every week for 4 weeks. The data were analyzed by non-parametric paired sign test of Wilcoxon. The flexion/extension error of the tracking test was significantly reduced on the paretic side, while the nonparetic side was not statistically significant. The transfer of the skill to the functional activity was shown in the significant improvement at timed 10 m gait speed test. This study shows that individuals with chronic who have impaired knee movement can be trained to improve their knee

control through intensive practice at a knee movement tracking task and that the skill learned from such training is transferred to a more functional gait speed.

Key Words: Gait; Knee; Stroke; Tracking training.

I. 서론

뇌졸중 후의 운동학적 문제는 운동영역의 손상뿐만 아니라 운동계획을 선택하고 프로그램화하는 기능의 손상을 포함한다. 인지적 활동(cognitive activity)은 자극 확인, 반응 선택, 운동 프로그램 단계를 포함하는 정보처리 과정으로서 자극에 반응하여 목적있는 움직임을 이끈다(Schmidt와 Lee, 1982). 정보처리 과정은 다양한 조건 하에서 지각적 운동 작업(perceptual motor task) 시 반응시간에 관한 연구를 통하여 평가되어져 왔다.

추적작업(tracking training)은 연속 동작 동안 정확한 운동조절을 요구하는 정보처리 과정을 연구하기 위해 사용될 수 있는 실험적 방법이다(Bakken 등, 2001; Knight 1987; Poulton, 1974). Knight(1987)는 인간의 수행 능력에 있어서 일상적인 기능적 조절작업과 추적작업 사이의 폐쇄적 관계에 관하여 연구하였다. 그는 복잡한 인지 변형(mental transformation)을 요구하는 작업은 문제해결 단계에서 특정한 요구를 한다고 보고하였다. 이때 반응과 함께 자극정보를 지도화(mapping)하기 위한 변형(transformation)의 감소는 정보 전달(information transmission)과 문제해결(decision making) 그리고 궁극적으로는 수행 능력의 조질을 개선시킨다고 하였다(Bakken 등, 2001).

추적작업은 연구에서 손상받은 대조군을 구별해내거나 뇌손상 환자의 치료효과를 평가하는데 가치가 있다고 증명되었다(Carey, 1990; Carey 등, 1998; De Souza 등, 1980; Halaney와 Carey, 1989; Jones과 Donaldson,

1981). Bate와 Matyas(1992)는 편마비 환자의 마비측 팔굽관절 추적훈련이 팔굽관절의 추적 수행능력을 개선시켰다고 보고했으며, Carey 등(1994)은 여러 연구에서 손가락관절에서의 운동학습(motor learning)을 통한 추적훈련의 효과를 증명하였다(Carey 등, 1998; Carey 등 2001; Carey 등, 2002). 그러나 현재 하지관절에서의 추적훈련의 효과가 기능적인 작업(functional task)으로 전이되는 지에 관한 연구는 드물다. 본 연구에서는 마비로 인한 무릎관절 조절능력의 부족은 뇌졸중과 연관된 가장 쇠약해진 기능적 문제들 중의 하나이므로 무릎관절 추적훈련에 초점을 맞추었으며 기능적 능력으로의 전이를 알아보기 위하여 보행속도를 측정하였다.

본 연구의 목적은 편마비 환자에서 마비측의 슬관절 추적훈련이 보행에 미치는 영향에 관하여 알아보고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구의 대상은 뇌졸중으로 진단받고 대구광역시 영남대학병원에서 재활치료를 받고 있는 뇌졸중으로 진단받은 편마비 환자 9명을 대상으로 하였다(표 1).

본 연구에 참가하는 환자의 선정 조건은 다음과 같다.

- 가. 연구자가 지시하는 내용을 이해하고 따를 수 있는 환자
- 나. 시력에 이상이 없는 환자 (컴퓨터 스크린의 커서가 목표선의 위 또는 아래에 있는지를 찾아낼 수 있는 능력을 검사)

표 1. 연구대상자의 일반적 특성

대상자	나이	성	마비부위	발병 후 기간(년)
1	39	여	좌측	1.5
2	38	남	좌측	1.5
3	33	여	우측	2
4	55	남	좌측	2.2
5	44	남	우측	1.3
6	42	남	우측	1
7	42	여	좌측	1
8	40	남	좌측	2
9	47	남	우측	2

- 다. 뇌졸중으로 인한 발병기간이 최소 6개월 이상인 환자
- 라. 실험 참가 동의서에 서명한 환자

2. 연구설계

연구기간은 1주의 준비기와 그 후 4주의 추적훈련 기간으로 구성되었다. 마비측 무릎관절에 실시된 추적훈련의 효과를 검증하기 위해 훈련기간 전후에 정확한 운동조절을 양적화하기 위한 무릎관절 추적검사와 기능적 능력으로의 전이정도를 알아보기 위한 10 m 보행속도(timed 10 m gait speed test)를 각각 측정하였다.

3. 무릎관절 추적훈련

전후 검사 사이에 훈련군의 마비측 다리는 주 5회씩 4주 동안 총 20회의 추적훈련을 실시하였다. 훈련기간 동안 일상적인 저항도 신체 활동 및 재활치료는 계속 유지하도록 하였다. 추적훈련은 2 종류의 추적 프로토콜이 무작위로 진행되며, 각 프로토콜 사이에 10~15초의 휴식시간을 두면서 30분 동안 실시하였다. 일반적으로 구두 되먹임은 외부자극을 최소화하는 반면 내부 오차 감지계(internal

error detection system)를 개선시키기 위해 3번째 시도를 완성한 후에 요약하여 연구자에 의해서 대상자에게 실시되었다.

4. 측정방법

가. 무릎관절 운동의 추적검사

훈련 전후에 대상자의 마비측과 비마비측에 무릎관절 운동조절에 대한 추적검사를 실시하였다. 검사 동안 대상자는 스크린과 80 cm 떨어진 거리의 N-K 테이블¹⁾에 앉아 몸통을 세우고 팔굽관절 90° 굴곡상태에서 손잡이를 잡게 하였다. 추적검사를 수행하지 않는 하지는 바닥에 발이 닿도록 발판을 대었다.

추적훈련 동안 관절각도 변화를 측정하기 위한 전기측각기(electrogoniometer)는 두개의 단단한 팔이 용수철로 연결된 전기분압기(electrical potentiometer)로 구성된다. 전기분압기의 회전축은 대퇴골 외측상과(lateral epicondyle)에, 고정팔(stationary arm)은 외측과에서 대전자(grater trochanter)를 잇는 선 위에 평행하게 놓고, 이동팔(moving arm)은 외과(lateral malleolus)와 비골(fibula)의

1) Preston, NJ, USA.



그림 1. 전기측각기(Electrogoniometer)

중앙을 연결한 선에 평행하게 놓았다(그림 1). 이 장비에서 나오는 아날로그 신호는 MP150 시스템²⁾으로 보내져 디지털 신호로 전환된 다음 개인용 PC에서 Acqknowledge 소프트웨어를 이용하여 필터링과 기타처리를 하였다. 각도 신호의 표본추출률(sampling rate)은 100 Hz이고 1.5 Hz 저역통과필터(low pass filter)를 사용하였다. 각 테스트 전에 대상자는 무릎관절의 최대 굴곡과 신전을 수행하였다. 전기각도계는 N-K 테이블에 앉은 상태를 0°로 정하고 영점조정(calibration)을 하였다. 먼저 연구자가 시범을 보이고, 대상자가 준거사인파를 정확하게 수행하도록 대상자에게 무릎관절의 수동운동을 시켜준 다음, 스스로 3회 연습하도록 하였다. 이 기간 동안 검사자는 정확한 설명을 제공하고 질문에 대답하였다. 1분 휴식 후, 검사가 실시되고 그동안 설명이나 질문에 대한 대답은 하지 않았다.

추적검사는 .2 Hz의 일정 속도에서 -20~20°, 0~60° 범위의 굴곡·신전 운동을 무작

위로 실시하였다(그림 2)(그림 3). 준거사인파를 얼마나 유사하게 수행하는지에 대한 평가요소로 준거사인파와 환자의 굴곡·신전 운동신호에 대해 크기 차이를 구하였다. 먼저 환자의 굴곡·신전 운동은 .2 Hz보다는 고주파의 신호를 내재하고 있고 이러한 고주파 성분은 본 연구에서 평가하고자 하는 크기를 구하는데 중요한 신호성분이 아니므로 제거하기 위해 .2 Hz의 저역통과필터를 하였다. 굴곡·신전 운동의 최대값(peak)을 구하고 크기 차이를 구하기 위하여 필터링된 신호에서 기울기가 0이 되는 지점을 최대값으로 정하였다. 수학적 준거사인파와 환자의 최대 신전방향 관절각 사이의 신전오차(extension error)와 수학적 준거사인파와 환자의 최대 굴곡방향 관절각 사이의 굴곡오차(flexion error)를 구하여 비교함으로써 훈련 전·후 추적훈련의 효과를 알아보았다.

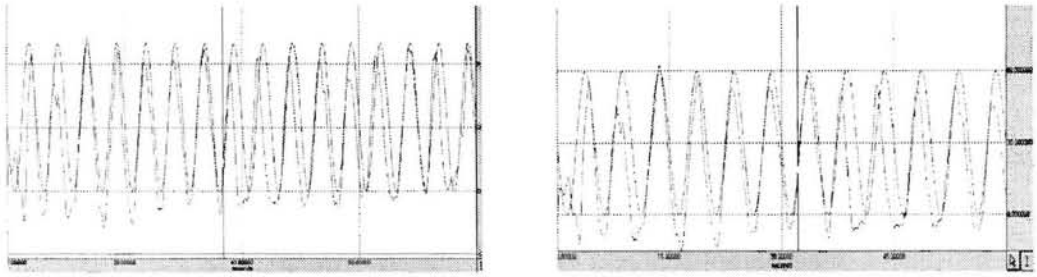
나. 보행속도 측정

편평한 바닥에 길이 13 m, 폭 8 cm의 테이프를 부착한 후 초시계(stop watch)를 사용하여 대상자가 13 m의 거리를 안전하다고 느끼면서 가장 빠르게 걷도록 하여 최대 안정속도(comfortable self-selected velocity)를 측정하였다. 이때 시간 측정은 총 13 m 중 전후 1.5 m를 제외한 10 m에서 이루어졌다. 측정 전 테이프 위를 걷도록 하여 측정방법에 익숙해지도록 하였다.

5. 분석방법

추적훈련 전·후의 추적 수행능력, 보행속도의 차이를 보기 위하여 비모수 윌콕슨 부호순위검정(non-parametric paired sign test of Wilcoxon)을 실시하였다. 분석 시 유의수준 α 는 .05로 정하였다. 자료의 통계처리는 상용 통계프로그램인 윈도우용 SPSS (statistical package for the social science) version 11.0을 사용하였다.

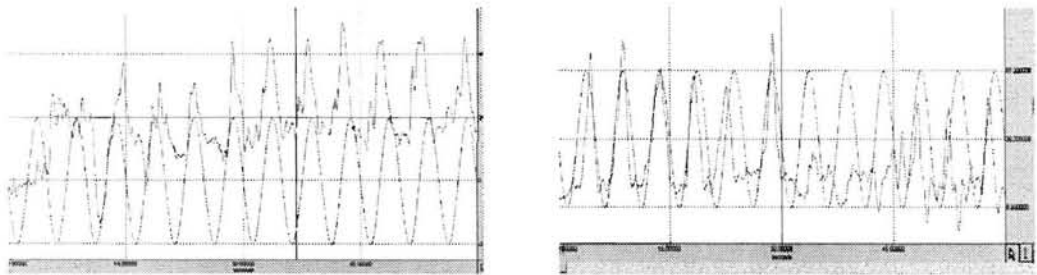
2) BIOPAC system Inc. CA. USA.



A. -20~20° 범위

B. 0~60° 범위

그림 2. 42세 우측 편마비 환자의 비마비측 추적검사



A. -20~20° 범위

B. 0~60° 범위

그림 3. 42세 우측 편마비 환자의 마비측 추적검사

Ⅲ. 결과

1. 무릎관절 추적훈련 전·후 추적 수행 능력의 변화

추적훈련 전·후의 굴곡오차와 신전오차의

비교에서 마비측은 .2 Hz의 일정 속도에서 -20~20° 0~60° 모두에서 유의한 차이가 있었으나($p < .05$), 비마비측은 유의한 차이가 없었다($p > .05$)(표 2)(표 3).

표 2. 추적훈련 전·후 -20~20° 범위에서 굴곡오차 및 신전오차의 변화

	신전오차(%) 평균 (표준오차)	굴곡오차(%) 평균 (표준오차)
비마비측(n=9)		
훈련 전	23.82 (3.65)	25.47 (3.05)
훈련 후	25.94 (4.45)	23.61 (3.91)
	p=.314	p=.594
마비측(n=9)		
훈련 전	30.47 (4.31)	54.02 (6.00)
훈련 후	18.36 (2.69)	40.32 (4.92)
	p=.038	p=.004

표 3. 추적훈련 전·후의 0~60° 범위에서 굴곡오차 및 신전오차의 변화

	신전오차(%) 평균 (표준오차)	굴곡오차(%) 평균 (표준오차)
비마비측(n=9)		
훈련 전	21.16 (3.41)	18.04 (3.07)
훈련 후	15.01 (2.54)	16.44 (2.33)
	p=.173	p=.515
마비측(n=9)		
훈련 전	39.01 (6.01)	21.50 (2.54)
훈련 후	16.22 (3.90)	13.78 (1.69)
	p=.011	p=.039

표 4. 추적훈련 전·후의 10 m 보행속도 변화 (단위: %)

훈련 전·후	평균 (표준오차)	t	p
훈련 전	.31 (.02)	5.52	.001
훈련 후	.44 (.03)		

2. 추적훈련 전·후의 10 m 보행속도 변화

추적훈련 10 m 보행속도 비교 시 훈련 전 .31%에서 훈련 후 .44 %로 유의한 차이가 있었다(p<.05)(표 4).

IV. 고찰

본 연구는 컴퓨터 화면에 제시된 준거사인파를 추적하여 무릎관절이 숙련되고 정확한 시간적 공간적 움직임을 획득할 수 있도록 유도함으로써 추적훈련이 보행에 미치는 영향에 관하여 알아보고자 하였다.

N-K 테이블에 앉은 자세를 무릎관절 0°로 정하고, -20~20°, 0~60°의 범위에서 훈련 및 검사가 시행되었다. 신전오차 및 굴곡오차는 숙련된 동작을 위한 정보처리의 유용한 지표가 될 수 있다. 정보처리는 자극의 확인(stimulus identification), 반응의 선택

(response selection), 숙련된 움직임에 필요한 운동프로그래밍(motor programming)의 인지적 단계들을 포함한다(Schmidt와 Lee, 1982). 또한 숙련된 추적작업을 위해서는 화면상의 움직임은 시각적 준거와 무릎관절의 공간적인 반응에 대한 실시간 관찰(monitring)을 필요로 한다. 적절한 반응 시간과 결합한 적절한 운동반응의 선택은(예, 무릎관절의 적절한 공간적 위치) 정확한 수행에 필수적이다. 준거사인파에 비해 과도하게 위로 올라가거나 내려가는 반응, 준거사인파에 미치지 못하는 반응은 결국 굴곡 및 신전 오차를 증가시킨다. 이 연구에서 사용된 추적 작업 시 정확한 움직임을 위한 정보처리 과정은 정확성을 요구하는 일상생활의 여러 목적 있는 작업들에서의 고유한 특징이다. 환자는 무릎을 굴곡·신전하여 준거사인파를 추적함에 따라 시공간적 작업(visual-spatial task)을 위한 정신적 변환(mental transformation)이 감소

하게 되고, 결과적으로 더욱 정확한 움직임 수행하게 된다.

추적훈련은 치료사로부터의 가이드는 최소화되어야 한다는 Schmidt(1991)의 운동학습(motor learning)의 원리를 강조한다. 대신에 다른 난이도 수준을 적용함으로써 환자 스스로가 시공간적 정보를 처리하도록 강화된다는 관점이다. 이러한 반복적인 움직임의 목적은 다른 난이도에 도전하고, 대상자 자신의 실수 감지(error detection) 능력과 운동계획 능력을 발전시킴으로써 궁극적으로는 운동조절 능력을 향상시키는 것이다. 지각적 운동작업(perceptual motor task)에서 인지적 변환(mental transformation)을 강화하는 훈련이 편마비 환자의 정보처리의 깊이를 개선시키고 기능적 움직임을 회복시킬 수 있는지를 결정하는 것은 매우 중요하다. 여러 연구들에서 만성 편마비 환자에서 마비측 상지의 강화된 사용은 마비측 상지의 현저한 기능적 이득을 이룬다고 보고하였다(Ostendorf, 1981; Taube 등, 1993; Wolf 등, 1989). 이러한 기전이 명확하지는 않지만 한 가지 가능성은 특정 움직임 동안 예전에 사용하지 않던 신경조직의 폭로(unmasking)이다(Wolf 등, 1989). Jones와 Schallert(1994)는 쥐의 감각운동 피질(sensory motor cortex)의 편측(unilateral) 병변(lesion)을 일으킨 후 수초분지(dendritic arborization)의 증가는 병변 자체에 의할 뿐만 아니라 뇌손상 동물에서(brain-damaged animals)의 행동에도 의존한다는 보고는 주목할 만한 발견이다(Jones와 Schallert, 1994). 아마도 지각적 운동문제(perceptual motor problem), 신경가소성 변화(neuroplastic changes), 도수조절(manual control)의 해결을 위해서 정보처리의 깊이를 강화함으로써 편마비 환자의 기능적 회복이 촉진될 수 있을 것이다.

Carey 등(2002)은 집중적인 추적훈련을 받은 편마비 환자에서 추적의 정확도(accuracy

tracking)가 개선되었으며, 쥐기(grasp)와 놓기(release) 기능의 개선으로 인해 Box and Block 점수가 증가했으며, 이것은 뇌 재건(brain reorganization)에 기여한다고 보고하였다(Carey 등, 2002). 본 연구에서 추적훈련의 효과에 대한 기능적 전이정도를 알아보기 위해 사용된 10 m 보행속도 검사는 노인의 기능적 상태를 반영하는 유효한 측정이다(Porter 등, 1995). 본 연구에서는 편마비 환자의 무릎관절 추적훈련 결과 추적의 정확도의 증가와 함께 보행속도의 증가를 보였으며 이는 운동기술(motor skill)의 개선이 기능적 활동으로 전이되었음을 의미한다. 본 연구의 후속 연구에서는 훈련 전후에 기능적 자기공명영상(functional MRI)을 측정한다면 뇌 재건에 관한 더욱 자세한 정보를 얻을 수 있을 것이다.

본 연구의 제한점은 연구대상자들의 약물 치료(medication)를 통제하지 않았다는 것이다. 그러므로 약품의 차이가 각 대상자들에게 다른 영향을 미칠 수 있다는 문제가 있으나 모든 대상자들이 검사 당일엔 처방된 약품을 복용하였으며 대상자 스스로가 최적의 상태라고 여겨지는 시점에 검사했기 때문에 이러한 가능성은 거의 없다고 본다.

V. 결론

본 연구의 목적은 편마비 환자에서 마비측의 무릎관절 추적훈련이 보행에 미치는 영향을 규명하는 것이다. 마비측 무릎관절의 $-20 \sim 20^\circ$, $0 \sim 60^\circ$ 범위에서 실시된 추적훈련 결과 마비측은 굴곡 및 신전오차 모두에서 유의한 차이가 있었으나($p < .05$), 비마비측은 유의한 차이를 보이지 않았다($p > .05$). 하지의 수행능력에 미치는 효과를 알아보기 위한 10 m 보행속도는 추적훈련 전후에 유의한 차이가 있었다($p < .05$). 이상과 같은 결과로 볼 때 무릎관절 추적훈련은 편마비 환자의 보행에

효과적임을 제안한다.

인용문헌

- Bakken RC, Carey JR, Di Fabio RP, et al. Effect of aerobic exercise on tracking performance in elderly people: A pilot study. *Phys Ther.* 2001;81:1870-1879.
- Bate PJ, Matyas TA. Negative transfer of training following brief practice of elbow tracking movements with electromyographic feedback from spastic antagonists. *Arch Phys Med Rehabil.* 1992;73:1050-1058.
- Canning CG, Ada L, O'Dwyer NJ. Abnormal muscle activation characteristics associated with loss of dexterity after stroke. *J Neurol Sci.* 2000;176:45-56.
- Carey JR. Manual stretch: Effect on finger movement control and force control in stroke subjects with spastic extrinsic finger flexor muscles. *Arch Phys Med Rehabil.* 1990;71:888-894.
- 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.
- Carey JR, Comnik KT, Ingman MS. Finger movement tracking control in 8- and 9-year-old males and females in stimulus-response compatible and non-compatible hand positions. *Cortex.* 2001;37:433-439.
- Carey JR, Deskin KA, Josephson KT. Sex differences in tracking performance in patients with Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002;83:972-977.
- Carey JR, Kimberley TJ, Lewis SM, et al. Analysis of fmri and finger tracking training in subjects with chronic stroke. *Brain.* 2002;125:773-788.
- De Souza LH, Hewer RL, Lynn PA, et al. Assessment of recovery of arm control in hemiplegic stroke patients. Comparison of arm function tests and pursuit tracking in relation to clinical recovery. *Int Rehabil Med.* 1980;2:10-16.
- Halaney ME, Carey JR. Tracking ability of hemiparetic and healthy subjects. *Phys Ther.* 1989;69:342-348.
- Jones RD, Donaldson IM. Measurement of integrated sensory-motor function following brain damage by a computerized preview tracking task. *Int Rehabil Med.* 1981;3:71-83.
- Jones TA, Schallert T. Use-dependent growth of pyramidal neurons after neocortical damage. *J Neurosci.* 1994;14:2140-2152.
- Knight JL. *Manual control and tracking.* New York, Wiley and Sones, 1987.
- Ostendorf CG. Effect of forced use of the upper extremity of a hemiplegic patient on changes in function. *Phys Ther.* 1981;61:1022-1028.
- Poulton EC. *Tracking Skill and Manual Control.* London, Academic Press, 1974.
- Porter JM, Evans AL, Duncan G. Gait speed and activities of daily living function in geriatric patients. *Arch Phys Med Rehabil.* 1995;76:997-999.
- Schmidt RA. Frequent Augment Feedback can Degrade Learning: Evidence and Interpretations. Dordrecht, Kluwer Academic, 1991:59-75.
- Schmidt RA, Lee TD. *Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis.*

Champaign(IL), Human Kinetics, 1982.

Taube E, Miller NE, Novack TA, et al.
Technique to improve chronic motor
deficit after stroke. Arch Phys Med
Rehabil. 1993;74:347-354.

Wolf SL, Lecraw DE, Barton LA. Foced
use of hemiplegic upper extremity to
reverse the effect of learned nonuse
among chronic stroke and head-injured
patients. Exp Neurol. 1989;104:125-132.