

편측 협응훈련에 의한 운동신경망의 재조직 및 교차훈련의 효과 - 사례연구 -

박지원
전북대학교대학원 의학과 재활의학교실
김종만
서남대학교 물리치료학과
서정환
전북대학교병원 재활의학과
김연희
포천중문의과대학 재활의학교실

Abstract

Reorganization of Motor Network and the Effect of Cross Education Derived From Unilateral Coordination Training

Park Ji-won, M.Sc., P.T.

Dept. of Rehabilitation Medicine, College of Medicine, Chonbuk National University

Kim Jong-man, Ph.D., P.T., O.T.

Dept. of Physical Therapy, Division of Health, Seonam University

Seo Jeong-hwan, Ph.D., M.D.

Dept. of Rehabilitation Medicine & Research Institution of Clinical Medicine,
College of Medicine, Chonbuk National University

Kim Yun-hee, Ph.D., M.D.

Dept. of Rehabilitation Medicine and Research Institute of Clinical Medicine,
College of Medicine, Pochon CHA University

We report the reorganization of motor network resulted from intensive unilateral coordination training and the effect of cross education on the untrained side in patient with traumatic brain injury using functional magnetic resonance imaging (fMRI). A 22 year-old male patient who had suffered from diffuse axonal injury for 58 months showed coordination deficit in the left hand at initial examination. Intensive motor training including complex finger movements and coordination activities using a metronome was introduced to the patient 4 hours per day for a week. FMRI was performed on a 3T ISOL Forte scanner. All functional images were analyzed using SPM-99 software. Hand function was improved after training not only in the trained left hand, but also in the untrained right hand. There was no activation in the right primary motor area (M1) during left hand movement before training whereas robust

activation of left M1 was demonstrated by the right hand movement. Profuse activation of bilateral prefrontal lobes was seen during both hand movements before training. After training of left hand, right M1 became prominently activated during the left hand motion. The activation of bilateral prefrontal lobes disappeared after training not only for the left hand movement but also for the right, which clearly demonstrated the effect of cross education. This case report demonstrated the learning-dependent reorganization of the M1 and the effect of cross education.

Key Words: Cross education; Functional magnetic resonance imaging; Learning dependent plasticity; Primary motor area (M1).

I. 서론

운동학습의 관점에서 운동행동의 반복적인 연습이 운동피질에서의 재조직 양상에 변화를 가져온다는 증거들이 많이 발표되어 왔다 (Plautz 등, 2000). 특히 기능적자기공명영상(fMRI) 기법을 이용하여 복잡한 운동과제를 단기간에 집중적으로 훈련할 경우 속도와 정확성이 증가하며 운동학습의 결과 뇌 운동신경망에도 변화를 가져올 수 있음을 밝힌 연구(Karni 등, 1995)는 단기간의 훈련과 사용에 의한 피질의 재조직 양상을 연구하는데 있어서 좋은 모델이 되어 왔다. 이 후 많은 연구자들이 이러한 변화를 사용의존 가역성(use-dependent plasticity)과 학습의존 가역성(learning-dependent plasticity)이라는 개념으로 설명하고 있으며(Plautz 등, 2000; Rosenkranz 등, 2000; Taub 등, 1999) 이러한 개념들은 뇌 손상으로 운동장애가 초래된 환자들에게 적극적인 재활치료의 당위성과 효과적인 재활치료법의 개발로 이어지고 있다(van der Lee, 2001).

이러한 맥락에서 뇌졸중 후 적극적인 재활치료의 방법으로 움직임 억제-유도치료(constraint-induced movement therapy)가 소개되었으며(Taub 등, 1998), 단순한 임상적인 변화만을 설명하려는 차원을 벗어나서 치료 후 뇌 영역에서의 변화를 함께 입증하려는 노력들이 이루어지고 있다(Kopp 등, 1999; Levy

등, 2001; Liepert 등, 1998). 그 중에서 기능적 자기공명영상기법을 이용하여 치료 후 뇌 손상 주위 영역에서 가역적인 변화가 일어났음을 보고한 연구(Levy 등, 2001)와 경두개자기 자극(transcranial magnetic stimulation, TMS) 기법을 이용하여 치료 후 활성화 부위가 커졌고 활성화의 중심 영역이 이동하였음을 보고한 연구(Liepert 등, 1998)는 사용의존 가역성을 뒷받침하는 근거로 제시되고 있다. Carey 등(2002)은 만성 뇌졸중 환자들을 대상으로 컴퓨터를 이용한 손가락 추적훈련을 실시한 결과 손의 기능이 훈련을 받지 않은 집단 보다 좋아졌으며, 기능적자기공명영상에서도 초기 동측에서 보였던 뇌 활성화 영역들이 훈련 후 대측의 감각운동피질(sensorimotor cortex), 일차운동영역(M1), 일차감각영역(S1), 전운동영역(premotor cortex) 등으로 재조직화가 일어났음을 보고하였다. 이러한 여러 가지 실험적 증거들을 통하여 뇌손상 후 치료를 통한 행동 패턴의 변화는 피질에서의 변화를 가져오는 것으로 밝혀지고 있으며 이는 재활치료의 관점에서도 상당히 중요하다. 따라서 편부전마비 환자의 재활치료에 있어서 기능의 증진과 더불어 피질에서의 변화를 가져오기 위해서는 보다 집중적인 훈련을 통하여 마비측 상지의 사용을 강조하는 것이 중요하다(van der Lee, 2001).

훈련과 사용에 의한 대뇌피질의 변화는 이미 뇌졸중으로 인한 편부전마비 환자들을 대

상으로 그 결과들이 보고되고 있지만 (Carey 등, 2002; Kopp 등, 1999; Levy 등, 2001; Liepert 등, 1998) 아직까지 외상성 뇌손상 환자들을 대상으로 한 연구는 부족한 실정이다. 외상성 뇌손상 환자들은 흔히 근긴장도의 불균형과 근육의 약화로 인하여 상지와 하지에서 운동조절에 문제를 가지게 되며 일반적으로 신체의 한쪽이 다른 한쪽보다 더 침범되는 형태를 보인다. 하지만 침범이 덜 된 쪽이라 할지라도 근력과 협응력에서 약간의 장애를 지니고 있게 되는 양측성 손상의 형태를 보인다. 특히 손 기능에서의 협응력 저하는 보다 섬세한 일상생활동작을 제한하며, 빠르고 정확한 움직임을 수행하기 어렵게 만든다(Schlageter와 Zoltan, 1996).

교차훈련(cross education)은 손상 받지 않은 측에서의 훈련이 손상 받은 측의 기능에 영향을 미친다는 연구 결과들이 발표되면서 지지 받기 시작하였다(Hortobagyi, 1999; Moritani와 deVries, 1979; Stromberg, 1986). Shima 등(2002)은 전기생리적 기법인 통합적 근전도(integrated electromyogram: iEMG)를 이용하여 편측에서 저항훈련을 하는 경우 대측에서의 근력에 변화를 가져온다고 하였으며, Bemben과 Murphy(2001)는 단기간의 편측 저항훈련이 훈련을 받지 않은 사지에서도 근력 증가를 가져왔으며, 따라서 교차훈련을 뇌졸중으로 편측 마비를 보이는 환자, 고관절 또는 슬관절의 대체술을 시행한 경우, 그리고 한쪽 사지에 석고고정(cast)을 시행한 경우 근력의 회복과 기능의 회복에 도움을 줄 수 있는 방법으로 제안하였다.

외상성 뇌손상시 동반되는 미만성축삭손상은 뇌량(corpus callosum)의 섬유들에 손상을 가져오며(Meythaler 등, 2001), 이는 뇌량간 회로(transcallosal pathway)의 잠재적인 역할 중의 하나인 대뇌반구간 억제(interhemispheric inhibition)의 감소를 가져올 수 있어 이것이 피질 손상 후 재조직의 과정에서 동측경로의

활성화가 나타날 수 있는 것으로 설명되고 있다(Reddy 등, 2000). 따라서 뇌손상 환자에서 편측의 운동효과가 대측 운동피질로 전이되는 것을 억제하지 못함으로 인하여 교차훈련의 효과가 나타날 것으로 추정할 수 있다.

본 연구는 외상성 뇌손상 후 협응력에 장애를 보이는 환자에서 단 기간의 집중적인 손가락 협응훈련이 양측의 손 기능 수행력에 미치는 영향을 알아보고 또한 기능적 자기공명영상기법(fMRI)을 이용하여 훈련 전과 후의 운동신경망 재조직 양상을 비교하여 훈련이 편측 대뇌 피질 활성화에 미치는 영향과 교차훈련의 효과 및 양상을 분석하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

22세의 남자 환자로 두부외상으로 미만성 축삭손상(diffuse axonal injury)을 입은지 4년 10개월이 경과한 상태이었다. 뇌손상 전 modified Edinburgh 검사를 이용한 손잡이 검사에서는 +100점으로 오른손잡이였으며, 임상 검사시 왼손의 협응력이 오른손에 비하여 저하되어 있었고 파악력에서는 왼손이 오른손보다 저하되어 있었다. 환자의 인지기능은 약식정신기능검사(MMSE)에서 30점으로 특별한 문제를 보이지 않았으며 언어기능에서는 경도의 조음장애와 발화속도가 느려진 상태를 보였다.

2. 손기능 검사

손 기능의 수행력을 평가하기 위하여 파악력(hand strength)과 pinch strength, 9 hole peg test, Jebsen hand function test 등을 치료 전과 후에 각각 양측 손에서 검사하였으며, 모든 검사는 숙련된 작업치료사에 의하여 실시되었다.

3. 훈련

훈련은 협응력이 감소된 왼손에 대하여 매일 4시간씩 메트로놈을 이용하여 복잡한 손가락 운동과 섬세한 과제를 이용한 협응운동 과제를 5일 동안 실시하였다. 메트로놈을 이용한 훈련에서는 손가락 마주치기 과제의 순서를 1, 3, 2, 4 또는 1, 4, 2, 3 등의 다양한 방법으로 메트로놈의 속도에 맞추어 실시하였으며 훈련과정이 진행될수록 빠르기를 증가시켰다. 또한 메트로놈의 진자 움직임 소리를 환자가 들을 수 있도록 하여 시각적, 청각적 자극을 동시에 제공해 주었다. 메트로놈을 이용한 훈련을 2시간 정도 실시한 후 나머지 2시간은 기민성(dexterity)을 요구하는 Pegboard 과제를 이용하여 훈련하였다. 훈련기간 중 오른손에 대한 훈련은 전혀 시행하지 않았다.

4. 기능적자기공명영상 실험 고안 및 자극

훈련 전과 훈련 후에 각각 기능적 뇌자기공명영상을 이용하여 뇌활성화 상태를 분석하였다. 자극제시는 블록 고안(block design)으로 통제 조건과 활성화 조건을 번갈아 설정하였으며, 활성화 조건은 오른손 과제와 왼손 과제를 번갈아 가며 반복하도록 디자인하였다. 통제조건의 블록은 10번, 오른손과 왼손 과제는 각각 5번씩이었다(각 블록당 15초). 기능적 영상을 획득하는 동안 통제조건에는 '휴식', 활성화 조건에서 오른손 과제에는 '오른손 반복운동', 왼손 과제에는 '왼손 반복운동' 등의 제시어를 사용하였다.

환자는 검사를 실시하기 전 훈련을 통해 검사자의 과제 수행시 반대측의 손을 움직이지 않도록 충분한 교육을 받았다. 검사 과정에서 환자에게는 MRI scanner 안에서 편안하게 누운 상태로 거울을 통해 보여지는 제시어에 맞추어 손가락 마주치기 순서과제(sequential task)를 수행하게 하였으며(1, 3, 2, 4,...), 휴식이라는 제시어가 나오면 손을 내려놓고 편안

히 쉬게 하였다. 수행 과제는 오른손, 휴식, 왼손, 휴식 등의 순서로 진행되었다.

5. 영상획득과 자료분석

영상은 3.0T 자기공명영상 장치(ISOL Forte, Korea)를 사용하여 얻었다. 환자가 헤드코일에 부착된 거울을 통해 Beam 프로젝트에서 제시되는 시각적인 자극을 보면서 운동 과제를 수행하는 동안 각 볼륨 당 30개의 slice를 single-shot EPI (Echo Planner Imaging) 기법으로 영상을 획득하였다 (TR/TE 3000/40 msec, flip angle 70°, FOV 220 mm, matrix 64×64, slice thickness 4 mm). 기능적 뇌 영상은 과제 당 104개의 볼륨 신호를 얻었으며 자기적 평형상태에 도달하기 위하여, 최초 4개의 볼륨을 분석에서 제외하고 100개의 볼륨을 이용하여 분석하였다. 해부학적 뇌영상은 T1 강조영상을 matrix 256×256, slice thickness 1 mm로 전교련(anterior commissure)과 후교련(posterior commissure)을 이은 선에 평행한 단면으로 얻었다.

기능적자기공명영상 자료의 분석은 SPM-99 software(Statistical Parametric Mapping-99, Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, 1999)를 사용하였다. 분석 과정은 머리의 움직임을 교정하기 위하여 기능적 영상의 재배열(realignment)을 실시하고 상관정립(coregister)을 통하여 기능적 영상과 해부학적 영상을 맞추었다. 뇌의 형태적 차이를 교정하기 위하여 표준화(normalization) 된 뇌 공간에 template image (Montreal Neurologic Institute)를 사용하여 표준화를 하였으며, 공간적 편평화는 8 mm Isotropic Gaussian Kernel을 사용하여 실시하였다. 자료들에 대한 통계분석은 실험시 자극을 주었던 패턴을 대상으로 일반선형모형(general linear model)에 기초한 모수추정(parameter estimation)을 수행하였다. 유의수준 corrected $p < .001$ 을 역치(threshold)로 하여 각 조건에 따른 뇌

표 1. 임상검사를 통한 훈련 전과 훈련 후의 양측 손 기능의 변화 양상

항 목	왼손(훈련측)		오른손(비훈련측)		
	훈련 전	훈련 후	훈련 전	훈련 후	
Strength	Grip (kg)	41.4	43.2	31.4	38.7
	Lateral pinch (kg)	7.4	7.6	7.1	7.5
	Palmar pinch (kg)	6.6	6.8	5.4	5.6
	Tip pinch (kg)	6.4	6.4	4.9	5.3
Coordination	9-hole peg test	39.3"	34.7"	31.8"	28.5"
Jebsen Hand	Writing	2'4"	1'56"	25.0"	21.7"
Function Test	Cards	7.6"	6.0"	6.8"	5.3"
	Small objects	10.5"	8.7"	9.7"	8.2"
	Simulated feeding	23.7"	23.8"	14.4"	14.1"
	Checkers	5.8"	5.1"	5.3"	4.5"
	Large light objects	6.3"	5.1"	5.5"	3.9"
	Large heavy objects	6.2"	4.9"	5.0"	4.5"

영상지도를 확인하였다.

Ⅲ. 결과

1. 임상결과

환자는 협응 훈련 실시 후 훈련 전에 비하여 양측 손 기능 검사의 수행력이 모두 호전되었다. 파악력은 훈련을 받은 측에서 약간의 증가가 있었지만 훈련을 받지 않은 측이 더 증가를 보였다. 9-hole peg test를 이용한 협응력 검사에서는 양측 모두 수행시간의 감소가 있었다. Jebsen hand function test에서는 보다 세밀한 수행을 요구하는 Writing, Cards, Small objects 등의 항목에서 수행시간의 감소를 보였으며 이는 양측 모두에서 나타났다(표 1).

2. 기능적자기공명영상 결과

뇌자기공명영상검사상 훈련 전에는 오른손의 운동과제시에는 좌측 대뇌 고유운동피질의 손영역에서 뚜렷한 활성화를 보였으나 왼손의 운동과제 수행시에는 우측 고유운동피

질부의 활성화가 나타나지 않았다. 한편 좌·우측 손 운동시 모두 전전두엽부(prefrontal lobe)에서 많은 활성화를 보여 순서적 운동수행시 전전두엽이 작용함을 시각적으로 알 수 있었다. 전전두엽의 활성화는 협응운동장애가 있는 좌측 손 운동시 우측 손 운동시보다 더 많이 나타났다. 훈련 후 좌측 손의 운동시 우측 대뇌 고유운동피질의 손 운동영역에서 국소적 활성화가 뚜렷이 나타났으며, 훈련 전에 보였던 전전두엽의 과다한 활성화는 소실되어 나타나지 않았다. 한편 훈련을 받지 않은 오른손 과제시에도 대뇌 고유운동피질의 활성화만 보일 뿐 전전두엽의 활성화는 소실되어 보이지 않았다.

Ⅳ. 고찰

생체 내에서 기능적 영상(functional imaging) 연구가 가능하여 지면서 고유운동피질이 운동학습의 과정과 관련이 있음이 밝혀져 왔다(Karni 등, 1995; Pascual-Leone과 Torres, 1993; Schlaug 등, 1994; Zhuang 등, 1998).

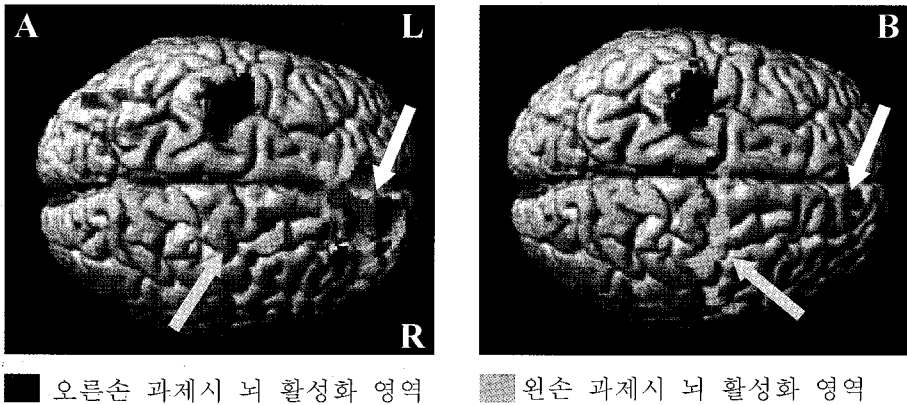


그림 1. 기능적자기공명영상 기법에 의한 협응훈련 전(A)과 후(B)의 뇌 활성화 영역의 비교. 훈련 전 왼손의 운동과제 수행시 우측 고유운동피질부의 활성화가 나타나지 않았지만, 훈련 후 우측 대뇌 고유운동피질의 손 운동영역에서 국소적 활성화가 뚜렷이 나타났다(노란색 화살표). 또한 훈련 전 좌·우측 손 운동시 양측 모두 전전두엽부(prefrontal lobe)에서 많은 활성화를 보였지만, 훈련 후 전전두엽의 활성화는 양측 모두에서 소실되었다(흰색 화살표).

고유운동피질에서는 학습과 관련된 활동을 하는 것이 단순 과제를 사용하는 운동보다 뇌 활성화 정도가 더 크고 더 넓은 영역에서 나타남이 보고되어 왔다(Karni 등, 1995; Kawashima 등, 1994; Pascual-Leone 등, 1995). 일반적으로 반복적인 행동경험이 피질 지도를 변화시킬 수 있는 것으로 이야기되고 있는데(Elbert 등, 1995; Hallett, 2001) 이러한 개념을 사용 의존 가역성이라 하며 이는 특정한 감각을 입력하고 운동을 출력하는 활동을 하는 것과 이러한 사용으로부터 초래되는 피질 지도의 변화 사이에 추정해볼 만한 관계가 있다는 것이다(Plautz 등, 2000). 하지만, 반복적인 운동활동만으로는 피질 지도에서 기능적인 재조직을 가져 올 수 없으며, 고유운동피질에서 확실한 뇌 가역성을 이끌어 내기 위해서는 운동기술의 습득 또는 운동학습이 전제요소라고 할 수 있다(Plautz 등, 2000). Karni 등(1995)의 연구에서는 운동학습의 결과를 가져오기 위하여 복잡한 운동과제를 사용하였으며, Classen 등(1998)은 엄지

손가락에서 숙련되지 않은 움직임은 반복해서 훈련시켰더니 엄지손가락의 움직임 방향에 따라 피질의 활성화 양상에 변화가 나타났으며 이러한 변화는 훈련을 멈춘 몇 분 후에 다시 처음의 상태로 되돌아 왔다고 보고하였다. 이는 단순한 운동활동만으로는 피질에서 장기적인 가소성을 만들어낼 수 없다는 이론을 지지하는 결과였다. 따라서 본 연구의 결과에서 훈련 후 고유운동피질에서 나타난 뚜렷한 뇌 활성화는 복잡하게 디자인된 운동과제를 집중적으로 수행한 결과로 설명할 수 있다.

피질의 학습의존 가소성 이론에서는 행동과제를 성공적으로 수행하는 것이 기술의 습득과 일부 관련이 있다면 그것이 운동 기술이든 감각/지각 기술이든지 간에 과제지향적(task-related) 피질 재조직이 일어날 수 있음을 제안하고 있다. 하지만 기술의 학습이 이루어지지 않으면 피질에서의 변화도 나타나지 않을 것이며 이러한 관점에서 피질의 가소성은 반복적인 사용과 신경학적인 활동

이 연속적으로 이루어지는 운동학습의 형태가 되어야 한다(Plautz 등, 2000). 발달과정뿐만 아니라 성인에서도 신경학적인 가역성의 근거가 되는 것은 지각 학습(perceptual learning)과 기억이다(Karni 등, 1995). 영장류와 인간을 대상으로 훈련 후에 얻어진 정신운동성 학습 데이터(psychophysical learning data)는 훈련 전과의 능력 비교에서 뚜렷한 차이를 가져 왔으며, 그 의미는 고유감각피질과 고유운동피질에서 지각 학습과 순서 학습(procedural learning)에 의한 신경학적인 재조직으로 설명된다(Merzenich와 Sameshima, 1993; Pascual-Leone와 Torres, 1993). 이러한 연구들은 학습 의존적 신경가역성의 기전으로 훈련에 의한 학습이 피질에서의 변화양상을 가져왔음을 의미하는 것이다(Spengler 등, 1997). 따라서 본 연구의 결과에서 나타난 훈련 후 운동과제의 수행시간이 짧아졌음과 뇌 활성화 영역 중에서 전전두엽 영역의 과도한 활성화가 사라진 것은 단기간의 집중적인 훈련이 학습으로 이어졌으며 학습의 결과가 과제 수행의 인지적 사용을 줄여 불필요한 뇌 영역의 활성화를 사라지게 만든 것으로 여겨진다.

본 연구의 대상자는 훈련을 받지 않은 측에서도 손 기능의 향상과 피질의 활성화에 변화를 보인 교차훈련(cross education)의 효과를 보였다. 아직까지 교차훈련의 기전에 대해서 명확하게 밝혀져 있지는 않지만 Zhou(2000)는 교차훈련의 정의를 한쪽 사지에서 지속적인 운동활동을 할 경우 대측에도 영향을 미치는 것으로 설명하고 있으며, 그 효과로 운동활동을 증가시키거나 감소시킬 수 있으며, 상동하는 근육(homologous muscle)이나 훈련 과제에 따라 차이가 있을 수 있다고 하였다. 또한 그 기전을 척수 수준에서 이루어지는 신경계의 적응(adaptation)과 관련이 있을 것으로 설명하고 있다.

이전까지 양측성 과제(bimanual task)는

하나의 과제처럼 조절되는 것으로 생각되어 왔으며, 따라서 두 대뇌반구간에 유사한 뇌영역을 서로 연결시켜주는 뇌량의 섬유들이 많이 존재하여 동시 조절이 가능한 것으로 생각되어 왔다. 하지만 신경해부학 연구에서 각 대뇌반구의 일차 손 영역(primary hand area) 사이에는 뇌량을 통해 연결되는 섬유들이 매우 드문 것으로 밝혀졌으며, 따라서 각각의 손이 독립적으로 신경의 지배를 받고 있다는 쪽이 지지를 받고 있다(Leonard, 1998). 그렇지만 이와는 상반되는 견해로 하나의 피질 영역에서 양측성 조절이 이루어진다는 증거들 역시 제시되고 있다. Aizawa 등(1990)은 고유운동피질에서 손을 담당하는 영역 내에 양측성 과제시에만 작용하는 독립된 영역이 존재하는 것 같다고 보고하였다. 또한 일차운동피질과는 달리 감각운동피질의 연합영역에서는 서로간에 양측을 연결하는 섬유들이 뻗뻗하게 존재한다(Leonard, 1998)는 연구보고들이 나오면서 하나의 피질 영역이 양측성 운동활동을 조절할 수 있다는 견해를 지지하고 있다.

본 사례에서 나타난 훈련받지 않은 쪽의 전전두엽 영역의 활성화 소멸은 운동학습으로 인한 인지적 부담의 감소가 양측성으로 작용된 것으로 생각되며, 그 기전으로는 본 환자에서 미만성척삭손상으로 인하여 뇌량의 억제성이 감소된 점이 작용하였을 것으로 생각해 볼 수 있다. Meyer 등(1995)은 경두개 자기자극을 이용한 연구에서 정상인의 경우 동측경로에서 수의적인 근전도 활동이 억제되어 있었지만 뇌량의 무형성(agenesis) 또는 고유운동피질에서 교차섬유를 포함한 뇌량의 병변을 지닌 환자들의 경우 동측경로에서의 활성이 일어났음을 보고한 바 있다. 또한 기능적자기공명영상 기법을 이용한 연구에서는 섬세한 손가락 운동시에 동측의 감각운동피질에서 활성화가 감소했음을 교량섬유들에 의한 대뇌반구간 억제의 증거로써 제시되고

있다(Allison 등, 2000). 특히 피질의 손상 후 회복과정에서 운동감각피질 또는 전운동피질(premotor cortex)의 동측경로의 활성화가 증가하게 되는 기전을 교량 섬유에 의해 중재되는 대뇌반구간 억제가 감소했기 때문으로 설명하고 있다(Reddy 등, 2000). 따라서 본 사례에서 교차훈련의 효과는 외상성 뇌손상으로 인한 미만성축삭손상으로 뇌량간 회로의 역할이 감소되면서 대뇌반구간 억제가 약해지게 되고, 그러한 과정을 통해 편측에서의 운동학습이 대측의 운동활동에 영향을 미칠 것으로 생각된다.

V. 결론

외상성 뇌손상 환자에서 복잡한 손가락 협응 훈련 프로그램으로 단기간의 집중적인 훈련을 실시한 결과 훈련된 손 뿐 아니라 반대측 손에서도 운동 수행력의 증진을 가져왔으며, 기능적자기공명영상 기법에 의한 피질 활성화의 관찰 결과 훈련된 손에 대한 대측 고유운동영역에서는 활성화 증진으로 재조직이 일어나고 또한 전두엽에서의 피질 활성화가 소실되었음이 관찰되었다. 이러한 재조직 양상은 사용 또는 학습의존적 가소성의 개념을 지지해주는 결과이며 뇌손상 후 운동장애를 보이는 재활 환자들에게 새로운 치료적인 전략을 제공해 줄 수 있을 것으로 생각된다. 또한 본 증례에서 보인 교차훈련의 효과는 피질손상 후 초기 단계에서부터 건측에도 적극적인 훈련을 적용하는 것이 환측에서의 운동능력 증진에 간접적인 도움을 줄 수 있을 것으로 제안된다.

인용문헌

Aizawa H, Mushiaki H, Inase M, et al. An output zone of the monkey primary motor cortex specialized for bilateral

hand movement. *Exp Brain Res.* 1990;82(1):219-221.

Allison JD, Meador KJ, Loring DW, et al. Functional MRI cerebral activation and deactivation during finger movement. *Neurology.* 2000;11;54(1):135-142.

Bemben MG, Murphy RE. Age related neural adaptation following short term resistance training in women. *J Sports Med Phys Fitness.* 2001;41(3):291-299.

Carey JR, Kimberley TJ, Lewis SM, et al. Analysis of fMRI and finger tracking training in subjects with chronic stroke. *Brain.* 2002;125(Pt 4):773-788.

Classen J, Liepert J, Wise SP, et al. Rapid plasticity of human cortical movement representation induced by practice. *J Neurophysiol.* 1998;79(2):1117-1123.

Elbert T, Pantev C, Wienbruch C, et al. Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science* 1995;13;270(5234): 305-307

Hallett M. Plasticity of the human motor cortex and recovery from stroke. *Brain Res Brain Res Rev.* 2001;36(2-3): 169-174.

Hortobagyi T, Scott K, Lambert J, et al. Cross-education of muscle strength is greater with stimulated than voluntary contractions. *Motor Control.* 1999;3(2): 205-219.

Karni A, Meyer G, Jezzard P, et al. Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Nature.* 1995;14;377(6545):155-158.

Kawashima R, Roland PE, O'Sullivan BT. Activity in the human primary motor cortex related to ipsilateral hand movements. *Brain Res.* 1994;14;663(2):

- 251-256.
- Kopp B, Kunkel A, Mühlnickel W, et al. Plasticity in the motor system related to therapy-induced improvement of movement after stroke. *NeuroReport*. 1999;10:807-810.
- Leonard CT. *The Neuroscience of Human Movement*. USA, Mosby, 1998:192-194.
- Levy CE, Nichols DS, Schmalbrock PM, et al. Functional MRI evidence of cortical reorganization in upper-limb stroke hemiparesis treated with constraint-induced movement therapy. *Am J Phys Med Rehabil*. 2001;80:4-12.
- Liepert J, Miltner WHR, Bauder H, et al. Motor cortex plasticity during constraint-induced movement therapy in stroke patients. *Neurosci Lett* 1998;250:5-8.
- Merzenich MM, Sameshima K. Cortical plasticity and memory. *Curr Opin Neurobiol*. 1993;3(2):187-196.
- Meyer BU, Roricht S, Graf von Einsiedel H, et al. Inhibitory and excitatory interhemispheric transfers between motor cortical areas in normal humans and patients with abnormalities of the corpus callosum. *Brain*. 1995;118(Pt 2):429-440.
- Meythaler JM, Peduzzi JD, Eleftheriou E, et al. Current concepts: Diffuse axonal injury-associated traumatic brain injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 2001;82(10):1461-1471
- Moritani T, deVries HA. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med*. 1979;58(3):115-130.
- Pascual-Leone A, Nguyet D, Cohen LG, et al. Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills. *J Neurophysiol*. 1995;74(3):1037-1045.
- Pascual-Leone A, Torres F. Plasticity of the sensorimotor cortex representation of the reading finger in Braille readers. *Brain*. 1993;116(Pt 1):39-52.
- Plautz EJ, Milliken GW, Nudo RJ. Effects of repetitive motor training on movement representations in adult squirrel monkeys: Role of use versus learning. *Neurobiol Learn Mem*. 2000;74(1):27-55.
- Reddy H, Lassonde M, Bemasconi N, et al. An fMRI study of the lateralization of motor cortex activation in acallosal patients. *Neuroreport*. 2000;3;11(11):2409-2413.
- Rosenkranz K, Nitsche MA, Tergau F, et al. Diminution of training-induced transient motor cortex plasticity by weak transcranial direct current stimulation in the human. *Neurosci Lett*. 2000;15:296(1):61-63.
- Schlageter K, Zoltan B. *Occupational therapy: Practice skills for physical dysfunction*. 4th ed USA, Mosby, 1996:813.
- Schlaug G, Knorr U, Seitz R. Inter-subject variability of cerebral activations in acquiring a motor skill: A study with positron emission tomography. *Exp Brain Res*. 1994;98(3):523-534.
- Shima N, Ishida K, Katayama K, et al. Cross education of muscular strength during unilateral resistance training and detraining. *Eur J Appl Physiol*. 2002;86(4):287-294.
- Spengler F, Roberts TP, Poeppel D, et al.

- Learning transfer and neuronal plasticity in humans trained in tactile discrimination. *Neurosci Lett.* 1997;5; 232(3):151-154.
- Stromberg BV. Contralateral therapy in upper extremity rehabilitation. *Am J Phys Med* 1986;65(3):135-143
- Taub E, Crago JE, Uswatte G. Constraint-induced movement therapy: A new approach to treatment in physical rehabilitation. *Rehabil Psychol.* 1998;43:152-170.
- Taub E, Uswatte G, Finkiel R. Constraint-Induced Movement Therapy: A new family of techniques with broad application to physical rehabilitation - a clinical review. *Journal of Rehabilitation Research and Development.* 1999;36(3):238-251.
- van der Lee JH. Constraint-induced therapy for stroke: More of the same or something completely different? *Curr Opin Neurol.* 2001;14(6):741-744.
- Zhou S. Chronic neural adaptations to unilateral exercise: Mechanisms of cross education. *Exerc Sport Sci Rev.* 2000;28(4):177-184.
- Zhuang P, Dang N, Waziri A, et al. Implicit and explicit learning in an auditory serial reaction time task. *Acta Neurol Scand.* 1998;97(2):131-137.