

연속 반응 시간 과제 수행의 행위 관찰과 운동 상상이 거울신경활성에 미치는 영향

이상열 · 이명희¹ · 배성수² · 이강성³ · 공원태⁴

김해대학 물리치료과, ¹대구보건대학 물리치료과, ²대구대학교 물리치료학과,
³한서대학교 의료보장구학과, ⁴구미대학 물리치료과

The effects of action observation and motor imagery of serial reaction time task(SRTT) in mirror neuron activation

Sang-yeol Lee, PT, PhD, Myung-hee Lee, PT, PhD¹, Sung-soo Bae, PT, PhD²,
Kang-seong Lee, PT, PhD³, Won-tae Gong, PT, PhD⁴

Department of Physical Therapy, Gimhae college university

¹*Department of Physical Therapy, Daegu Health College*

²*Department of Physical Therapy, Daegu University*

³*Department of prosthetics and orthotics, Hanseo University*

⁴*Department of Physical Therapy, Gumi college university*

<Abstract>

Purpose : The object of this study was to examine the effect of motor learning on brain activation depending on the method of motor learning.

Methods : The brain activation was measured in 9 men by fMRI. The subjects were divided into the following groups depending on the method of motor learning: actually practice (AP, n=3) group, action observation (AO, n=3) group and motor imagery (MI, n=3) group. In order to examine the effect of motor learning depending on the method of motor learning, the brain activation data were measured during learning. For the investigation of brain activation, fMRI was conducted.

Results : The results of brain activation measured before and during learning were as follows; (1) During learning, the AP group showed the activation in the following areas: primary motor area located in precentral gyrus, somatosensory area located in postcentral gyrus, supplemental motor area and prefrontal association area located in precentral gyrus, middle frontal gyrus and superior frontal gyrus, speech area located in superior temporal gyrus and middle temporal gyrus, Broca's area located in inferior parietal lobe and somatosensory

association area of precuneus; (2) During learning, the AO groups showed the activation in the following areas: primary motor area located in precentral gyrus, prefrontal association area located in middle frontal gyrus and superior frontal gyrus, speech area and supplemental motor area located in superior temporal gyrus and middle temporal gyrus, Broca's area located in inferior parietal lobe, somatosensory area and primary motor area located in precentral gyrus of right cerebrum and left cerebrum, and somatosensory association area located in precuneus; and (3) During learning, the MI group showed activation in the following areas: speech area located in superior temporal gyrus, supplemental area, and somatosensory association area located in precuneus.

Conclusion : Given the results above, in this study, the action observation was suggested as an alternative to motor learning through actual practice in serial reaction time task of motor learning. It showed the similar results to the actual practice in brain activation which were obtained using activation of mirror neuron. This result suggests that the brain activation occurred by the activation of mirror neuron, which was observed during action observation. The mirror neurons are located in primary motor area, somatosensory area, premotor area, supplemental motor area and somatosensory association area. In sum, when we plan a training program through physiotherapy to increase the effect during reeducation of movement, the action observation as well as best resting is necessary in increasing the effect of motor learning with the patients who cannot be engaged in actual practice.

Key Words : Action observation, Mirror neuron, Motor imagery, Motor learning

I. 서 론

운동 학습은 일반적으로 체계적이고 반복적인 수행을 통해 정보를 획득하는 과정을 말한다(Halsband와 Lange, 2006). 인간은 이러한 과정을 통해 얻어진 숙련된 움직임으로 일상생활을 영위해 간다고 해도 과언이 아니다. 그러므로 움직임과 일상생활과의 관계 또는 운동학습과 일상생활과의 관계는 밀접하다 할 수 있고, 이는 곧 삶의 질과도 연관된다(배성수 등, 2009; Hashimoto 등, 2007).

운동 학습을 촉진 시키는 방법들이 다양하게 이루어지고 있다. 그중 전통적인 방법인 직접적인 운동 수행에 의한 학습을 극대화시키기 위해 다양한 과제를 통해 제시하고 있는데, 이러한 방법에는 운동 수행 시 여러 종류의 감각되먹임의 제시, 가상현실, 목적 있는 운동과제, 과제 지향적 운동, 구획연습과 무선연습, 집중학습과 분산학습, 시각적·청각적 자극을 이용한 훈련 등이 사용되고 있으며, 반복적이고 순차적인 연습으로 운동의 정확성과 숙련도가 증가함을 측정함으로써 운동 학습의 결과를 평가하였다(이명희, 2009; Orrell 등, 2007).

그리고 직접적인 운동 수행을 하지 않고 운동 학

습을 시키는 여러 가지 방법들에 대한 연구가 활발하게 되어 지고 있다(박민철, 2006; Perry와 Bentin, 2009). 정신 훈련에 관련된 연구들에 따르면 Page 등(2005)은 정신 훈련이 환자의 침범된 지질의 사용을 증가시킬 수 있다고 하였다. 그리고 운동 상상(motor imagery)을 이용한 정신 훈련이 가장 발전성 있는 방법으로 부각되고 있고, 이는 신체적인 움직임에 대한 인지적 예행연습으로써 운동 수행력을 보다 숙련되고 정확하게 향상시킬 수 있다고 하였다(박민철, 2006; Braun 등, 2006). 이러한 운동 기능 향상과 학습 촉진 효과에도 불구하고 운동 상상은 적용과정에서 집중력과 학습자의 협조 여부, 학습자의 기능 수준, 상상 능력의 개인적인 차이와 같은 제한점을 가지고 있다고 하였다(Papadelis 등, 2007). 또한 과제의 경험이 부족하거나 과제의 이해 능력이 부족한 대상자의 경우 학습촉진 효과를 기대하기 어려운 방법이므로 많은 주의가 필요하다고 하였다(Mulder 등, 2004).

그리고 최근 행위관찰(action observation)에 의한 운동 학습에 대해 많은 연구들이 이루어지고 있다. 이러한 행위 관찰은 다른 사람의 행동을 관찰하는 직접적 결과로써 행동의 형태와 동작을 이해하고,

선택하고, 모방하는 것이다(Ashford 등, 2006). 행위 관찰은 초기에 모방에 대한 사회심리 연구 분야의 주제였으며(Bandura, 1962), 운동 상상의 제한점을 보완하기 위한 인지적 중재로 최근 각광을 받고 있다(김태호, 2009). 많은 연구들에서 행위 관찰로 인하여 실제 수행과 동일한 신경학적, 근육학적 반응을 만들어 낼 수 있다는 것을 의미하며, 생후 9개월 유아들을 관찰한 결과 다른 사람이 물건을 잡는 행동을 볼 때 스스로 물건을 잡을 때 뇌의 운동 신경이 똑같이 활성화됨을 관찰할 수 있었다. 이는 뇌의 거울 신경계의 활동에 기인한다고 하였다. 그리고 이러한 특징으로 인해 행위 관찰과 같은 인지적 중재 역시 학습 과제의 실제 수행과 유사한 정보처리 활동을 유도함으로써 기능 학습을 촉진시킬 수 있다(Smith와 Holmes, 2004). 행위 관찰은 다른 사람이 수행하는 활동이나 영상 속에 등장하는 모델의 활동 장면을 관찰하는 것으로, 목표지향적인 운동을 관찰했을 때 활성화되는 뇌영역은 실제 운동을 수행할 때 활성화 되는 뇌영역과 부분적으로 일치하는 것으로 밝혀지고 있다(Buccino 등, 2001; Rizzolatti, 2001).

하지만 연속 반응 시간 과제와 같이 작은 손의 운동을 관찰 또는 상상하여 과제를 이해하고 실제 수행 시와 같은 영역의 뇌신경 활성이 나타나는데 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 연속 반응 시간 과제와 같이 행위의 이해가 필요한 운동의 관찰과 상상 그리고 실제 수행 시에 나타나는 거울신경계의 활성을 관찰하여 운동 학습이 필요한 뇌손상 환자를 치료하는 물리치료학문에 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구에서는 학력 수준이 비슷한 표집 선정을 위해 대구, 경북, 경남 지역에 있는 대학에 특정 분야의 학과에 재학 중인 20대 남학생 9명을 대상으로 하였다. 이들은 실험에 참여하기 전 실험의 전 과정에 대한 충분한 설명을 듣고 자발적으로 동의

하고 연구계획서를 확인한 후 동의서를 작성하였다. 대상자들은 1) 신경학적 이상이 없는 자, 2) 상지에 근골격계의 문제가 없는 자, 3) Edinburgh Handedness Inventory의 주용 손 검사에서 오른손이 우성으로 판명된 자로 제한하였다.

실험 대상자의 일반적인 특징은 실제 운동 수행 그룹의 평균 나이 23.833±2.124세, 평균 신장 175.12±32cm, 평균 체중 74.75±42kg이었으며, 행위 관찰 그룹의 평균 나이 24.01±1.62세, 평균 신장 174.32±4.42cm, 평균 체중 71.24±3.66kg이었다. 운동 상상 그룹의 평균 나이는 24.57±1.81세, 평균 신장은 175.43±4.12cm, 평균 체중은 71.08±6.12kg이었다. 대상자의 일반적인 특성에는 유의한 차이를 보이지 않았다($p<.05$).

본 연구는 연구윤리위원회의 승인을 거쳤고 승인 번호는 DFH09OT055이다.

2. 실험 도구 및 측정 방법

1) 기능적 자기 공명 영상

과제 연습 후, 각 중재 방법에 따른 뇌활성화 변화를 측정하기 위하여 1.5T MRI장치(Siemens, German MAGNETOM Trio, A Tim System, Germany)를 이용하였으며, 영상의 데이터 분석은 MAGNETOM Trio, A Tim System의 SPM 8(stastical parametric mapping 8 version) 소프트웨어를 이용하였다. 대상자가 패러다임을 수행하는 동안 EPI-BOLD(echo planner imaging-blood oxygen level dependent) 기법을 사용하여 영상을 획득하였다. 획득한 영상은 좌표를 이용하여 거울신경이 활성화된 정확한 부위를 파악하고 활성화 강도(t)를 알아보기 위해 Talairach Client 소프트웨어를 이용하였다.

운동학습에 대한 뇌 활성화를 확인하기 위하여 대상자는 바로 누운 자세에서 거울에 반사된 시각 신호와 헤드폰을 통한 청각신호에 맞춰 연습할 때와 같은 방법으로 미리 제작된 키보드를 손가락으로 누르는 동작을 실시하였다. 촬영에 앞서 측정 대상자에게 촬영 과정에 대하여 충분히 설명하여 측정 시 범할 수 있는 오류를 최소화하였다.

대뇌 피질의 활성 변화를 관찰하기 위한 패러다

임의 구성은 컴퓨터 프로그램을 이용한 연속반응시간 과제와 동일하게 하였으며 휴지기 동안에는 편안하게 이완된 상태로 있도록 하였다. 패러다임을 수행하는 동안 발생할 수 있는 머리의 움직임을 최소화하기 위하여 머리와 턱을 고정시키는 고정대를 사용하였다.

영상에 대한 데이터 분석은 MATLAB(Mathworks, Inc., USA) 환경에서 구현된 SPM8 소프트웨어로 처리하였으며, 역치를 p값이 0.001보다 낮은 수준에서 영상을 획득하도록 하였다. 그리고 범위 역치(extent threshold)를 복셀(voxel) 5개를 기준으로 활성 지도를 획득하였다.

2) 측정 방법

모든 대상자는 컴퓨터가 놓여진 책상 앞에 편안하게 앉고, 의자의 높이를 조절하여 오른쪽 상지를 책상 위에 놓았을 때, 팔꿈치 관절이 약 90°가 되도록 하였다. 대상자들은 시청각 신호에 맞춰 최대한 정확하고 빠르게 과제를 수행하도록 하였으며 과제를 수행하는 동안은 팔꿈치와 손목은 고정하고 최소한의 손가락 움직임으로 연속반응시간 과제를 수행하였다.

본 연구에 사용된 연속 반응 시간 과제(serial reaction time task, SRTT)는 40개의 연속신호가 제공되며 그에 맞는 키보드 키를 정해진 손가락으로 누르는 것이다. 이러한 40개 연속신호는 “one”에서 “eight”까지 8개 신호가 5회 반복으로 이루어지고 “one”과 “eight”은 두 번째 손가락으로 왼쪽 방향키를, “two”와 “seven”은 세 번째 손가락으로 위쪽 방향키, “three”와 “six”는 네 번째 손가락으로 오른쪽 방향키, 그리고 “four”와 “five”는 세 번째 손가락으로 아래쪽 방향키를 누르게 하였다(Fig. 1). 8개의 신호의 5회 반복으로 이루어진 40개의 연속신호는 하나의 블록을 구성하여 연습의 1회 실행을 1블록으로 실시하였다. 40개의 연속신호를 수행할 때는 연속신호에 반응하여 대상자가 키를 누르는 것과 상관없이 1초에 하나씩 다음 신호가 제공되도록 하였고, 대상자들 간에는 동일한 순서의 과제가 주어졌다. 시청각 신호는 “one”에서 “eight”까지의 글자와 오디오파일을 동영상파일로 제작하여 제시하였고 그

신호에 따라 과제를 수행하도록 하였다. 모든 대상자들은 과제 수행 동안 이어폰을 착용하였다.

위와 같은 방법으로 3회 반복적인 수행을 통하여 본 연구에 사용된 연속 반응 시간 과제를 이해한 후 각 그룹에 적합한 방법을 통해 운동 학습을 실시하였으며, 기능적자기 공명 영상은 각 그룹에 적합한 방법을 통한 운동 학습 중 측정하였다.

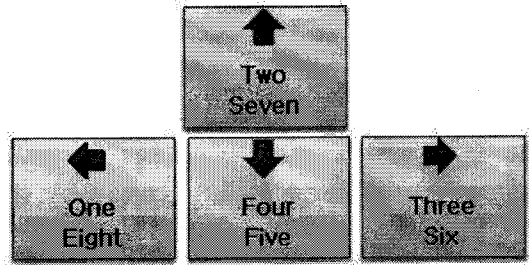


Fig. 1. Method of reaction

3) 자료 처리

각 그룹 간 대상자의 일반적인 특성을 비교하기 위해 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 사용하였으며, 유의 수준 α 는 0.05로 하였다. 모든 대상자의 실험 중 뇌신경 활성화는 그룹 분석(group analysis)을 통하여 얻어진 영상을 통해 가장 많은 뇌신경 활성화 영역을 x, y, z 축의 좌표로 나타내었고, 강도(t)로 표기하였다.

III. 연구 결과

1. 실제 수행 그룹의 학습 중 실제 수행 시 뇌 활성화 분석

실제 수행 그룹의 학습 중 실제 수행 시, 좌측 대뇌피질에서 일차운동영역은 중심앞이랑(BA 4, $t=4.21$), 운동보조영역은 중간이마이랑(BA 6, $t=5.41$), 앞이마연합영역은 아래이마이랑(BA 9, $t=3.38$), 중간이마이랑(BA 9, $t=4.76$), 체성연합영역은 췌기앞소엽(BA 7, $t=5.82$), 체성각각영역은 중심뒤이랑(BA 3, 5, $t=3.88, t=3.43$), 베르니케영역은 아래마루소엽(BA 40, $t=5.11$), 이차시각결절은 아래뒤통수이랑(BA 18, $t=6.58$)이 활성화되었다. 또한 방사사각모양이랑(BA

Table 1. Learning-related brain activation of actually practice group during learning

x	y	z	T	Location / BA	x	y	z	T	Location / BA
-50	-62	-16	6.93	LCr, FsG / 37	-36	-38	-22	4.22	LCI, AL, Cm
-30	-90	-10	6.58	LCr, IOG / 18	60	-10	0	4.18	RCr, STG / 22
-6	0	46	6.01	LCr, AC / 24	32	-90	-4	4.00	RCr, IOG / 18
-44	2	54	5.41	LCr, MFG / 6	-40	-12	54	4.21	LCr, PrcG / 4
-24	-58	34	5.82	LCr, Pc / 7	-40	-14	54	3.88	LCr, PocG / 3
-64	-26	8	5.52	LCr, STG / 42	42	32	19	3.73	RCr, MFG / 46
-4	-54	-16	5.46	LCI, AL, Cm	68	-24	-6	3.62	RCr, MTG / 21
32	-4	52	5.27	RCr, MFG / 6	38	-48	40	3.46	RCr, IPLb / 40
42	-58	62	5.18	RCr, SPLb / 7	36	54	32	3.46	RCr, SFG / 9
-44	-40	50	5.11	LCr, IPLb / 40	-35	-40	58	3.43	LCr, PocG / 5
34	-54	-30	4.79	RCI, AL	12	-62	-16	4.25	RCI, PL, DV
-46	18	30	4.76	LCr, MFG / 9	-45	3	31	3.38	LCr, IFG / 9

BA : Brodmann's area, LCr : left cerebrum, PrcG : precentral gyrus, PocG : postcentral gyrus, RCr : right cerebrum, LCI : left cerebellum, RCI : right cerebellum, MFG : middle frontal gyrus, SPLb : superior parietal lobule, SFG : superior frontal gyrus, PL : posterior lobe, AL : anterior lobe, CIT : cerebellar tonsil, Th : thalamus, ITG : inferior temporal gyrus, MTG : middle temporal gyrus, STG : superior temporal gyrus, CL : caudate lobe, CdT : caudate tail, TL : temporal lobe, IL : insular lobe, FsG : fusiform gyrus, ITG : inferior temporal gyrus, IFG : inferior frontal gyrus, IPLb : inferior parietal lobule, SbG : sub-gyral, Pr : pyramis, Pc : precuneus, Pv : pulvinar, AC : anterior cingulate, MFG : middle frontal gyrus, IOG : inferior occipital gyrus, DV : declive of vermis, Cm : culmen

37, $t=6.93$), 앞배쪽변연연합영역(BA 24, $t=6.01$), 소녀에서는 앞엽의 소녀 산정 부분이 활성화되었다(Table 1)(Fig. 2).

우측 대뇌 피질에서 운동보조영역은 중간이마이랑(BA 6, $t=5.27$), 체성연합영역은 위마루소엽(BA 7, $t=5.18$), 앞이마연합영역은 중간이마이랑(BA 46, $t=3.73$), 위이마이랑(BA 9, $t=3.46$), 베르니케영역은 아래마루소엽(BA 40, $t=3.46$), 이차시각결절은 아래뒤통수이랑(BA 18, $t=4.00$)이 활성화되었다. 또한 중간관자이랑(BA 21, $t=3.62$), 위관자이랑(BA 22, $t=4.18$), 소녀에서는 소녀의 앞엽, 뒤엽의 소녀 벌레 부분이 활성화되었다(Table 1)(Fig. 2).

2. 행위 관찰 그룹의 행동 행위 관찰 중 뇌 활성화 분석

행위 관찰 그룹의 행동 행위 관찰 중, 좌측 대뇌 피질에서 일차운동영역은 중심앞이랑(BA 4, $t=3.36$), 운동보조영역은 중심앞이랑(BA 6, $t=6.76$), 중간이마이랑(BA 6, $t=5.55$), 앞이마연합영역은 아래이마

이랑(BA 47, $t=4.36$), 중간이마이랑(BA 9, 46, $t=3.99$, $t=4.04$), 체성감각영역은 중심뒤이랑(BA 2, $t=4.08$), 베르니케영역은 아래관자소엽(BA 40, $t=8.17$), 중간뒤통수이랑의 시각연합영역(BA 19, $t=10.47$), 청각연합영역은 가로관자이랑(BA 41, 42, $t=5.60$, $t=5.73$), 중간뒤통수이랑의 방사가락모양이랑(BA 37, $t=10.53$)이 활성화되었다. 또한 중간관자이랑(BA 21, $t=5.30$), 뇌섬엽피질영역(BA 13, $t=5.55$), 해마옆이랑의 편도체, 시상, 소녀에서는 소녀의 소녀벌레 부분이 활성화되었다(Table 2)(Fig. 2).

우측 대뇌 피질에서는 일차운동영역은 중심앞이랑(BA 4, $t=3.36$), 베르니케영역은 모서리위이랑(BA 40, $t=4.08$), 위관자이랑(BA 39, $t=3.68$), 앞이마연합영역은 아래이마이랑(BA 46, 47, $t=3.65$, $t=3.66$), 중간이마이랑(BA 9, $t=3.26$), 이차시각영역은 아래뒤통수이랑(BA 18, $t=4.05$), 시각연합영역은 중간뒤통수이랑(BA 19, $t=6.41$)이 활성화되었다. 또한 중간관자이랑(BA 21, $t=4.29$), 위관자이랑(BA 22, $t=6.31$), 방사가락모양이랑(BA 37, $t=5.05$), 뇌섬엽피질영역(BA 13, $t=3.35$), 조가비핵, 소녀에서는 소녀의 반달

Table 2. Learning-related brain activation of action observation group during learning

x	y	z	T	Location / BA	x	y	z	T	Location / BA
-50	-64	-8	10.53	LCr, MOG / 37	12	-76	-46	4.84	RCr, SLLb
-36	-88	14	10.47	LCr, MOG / 19	48	8	20	4.84	RCr, IFG / 44
-34	-40	54	8.17	LCr, IPLb / 40	6	12	56	4.72	RCr, SFG / 6
18	-56	56	7.00	RCr, Pc / 7	-14	-72	-34	3.36	LCr, Uvula
25	-55	62	5.25	RCr, SPLb / 7	38	18	4	3.35	RCr, IL / 13
-50	-36	22	5.55	LCr, IL / 13	-26	10	-16	4.36	LCr, IFG / 47
-48	2	34	6.76	LCr, PrcG / 6	-20	0	16	3.46	LCr, PhG, Ad
-28	-4	50	5.55	LCr, MFG / 6	-60	-18	46	4.08	LCr, PocG / 2
-28	-26	56	3.36	LCr, PrcG / 4	46	-38	30	4.08	RCr, SmG / 40
-64	-4	-2	5.30	LCr, MTG / 21	42	-86	-10	4.05	RCr, IOG / 18
40	-88	16	6.41	RCr, MOG / 19	-44	24	24	4.04	LCr, MFG / 46
48	-54	-14	5.05	RCr, FsG / 37	-50	24	30	3.99	LCr, MFG / 9
25	-58	-28	6.33	RCr, Pr	0	46	2	3.08	RCr, AC
34	-54	-34	4.33	RCr, CIT	0	-78	-32	3.24	LCr, PV
68	-22	4	6.31	RCr, STG / 22	32	-54	30	3.68	RCr, STG / 39
68	-16	18	5.40	RCr, PrcG / 43	32	32	-12	3.66	RCr, IFG / 47
54	-44	10	4.29	RCr, MTG / 21	34	32	10	3.65	RCr, IFG / 46
40	-2	60	5.81	RCr, MFG / 6	20	14	6	3.54	RCr, LN, Pm
50	-2	60	4.85	RCr, PrcG / 6	-16	-26	2	3.53	LCr, Th
-52	-20	12	5.60	LCr, TTG / 41	38	36	36	3.26	RCr, MFG / 9
-60	-20	10	5.73	LCr, STG / 42	38	-23	56	3.36	RCr, PrcG / 4

TTG : transverse temporal gyrus, SmG : supramarginal gyrus, PV : pyramis of vermis

소엽, 소뇌별레, 소뇌 추체부분이 활성화되었다(Table 2)(Fig. 2).

3. 운동 상상 그룹의 운동 상상 학습 중 뇌 활성화 분석

운동 상상 그룹의 운동 상상 학습 중, 좌측 대뇌 피질에서 운동보조영역은 위이마이랑(BA 6, $t=6.86$), 중심앞이랑(BA 6, $t=6.02$), 중간이마이랑(BA 6, $t=5.29$), 체성연합영역은 췌기앞소엽(BA 7, $t=6.95$), 베르니케영역은 아래관자소엽(BA 40, $t=5.58$), 앞이마연합영역은 아래이마이랑(BA 46, $t=4.16$), 일차시각영역은 아래뒤통수이랑(BA 17, $t=9.00$), 이차시각영역은 췌기이랑(BA 18, $t=4.56$), 시각연합영역은 중간뒤통수이랑(BA 19, $t=4.57$), 청각연합영역은 위관자이랑

(BA 42, $t=6.64$)이 활성화되었다. 또한 위관자이랑(BA 22, $t=5.20$), 방사가락모양이랑(BA 37, $t=6.90$), 뇌섬엽피질영역(BA 13, $t=4.61$), 조가비핵, 소뇌에서는 소뇌 경사, 소뇌 편도 부분이 활성화되었다(Table 3)(Fig. 2).

우측 대뇌 피질에서는 운동보조영역은 중간이마이랑(BA 6, $t=5.43$), 앞이마연합영역은 위관자이랑(BA 38, $t=4.25$), 중간이마이랑(BA 11, $t=3.62$), 체성연합영역은 췌기앞소엽(BA 7, $t=3.37$), 베르니케영역은 아래마루소엽(BA 40, $t=3.81$), 이차시각영역은 췌기이랑(BA 18, $t=4.56$), 시각연합영역은 중간뒤통수이랑(BA 19, $t=4.57$)이 활성화되었다. 또한 중간관자이랑(BA 21, $t=4.69$), 위관자이랑(BA 22, $t=4.60$), 소뇌에서는 소뇌 경사, 소뇌 치상핵, 소뇌 편도 부분이 활성화되었다(Table 3)(Fig. 2).

Table 3. Learning-related brain activation of motor imagery group during learning

x	y	z	T	Location / BA	x	y	z	T	Location / BA
-28	-94	-8	9.00	LCr, IOG / 17	32	-42	-36	4.13	RCl, CIT
-16	-104	-6	4.56	LCr, CnG / 18	40	-40	-40	4.03	RCl, CIT
30	-92	-4	7.73	RCr, IOG / 18	60	6	-12	4.69	RCr, MTG / 21
-6	8	50	6.86	LCr, SFG / 6	54	0	-10	4.25	RCr, STG / 38
2	-4	56	5.43	RCr, MFG / 6	58	-18	4	4.60	RCr, STG / 22
-26	-58	5	6.95	LCr, Pc / 7	-24	-4	44	5.29	LCr, MFG / 6
-30	-84	14	4.57	LCr, MOG / 19	12	-68	-20	5.80	RCl, declive
-42	-40	48	5.58	LCr, IPLb / 40	12	-56	-22	3.78	RCl, Dn
-50	-62	-14	6.90	LCr, FsG / 37	-24	-8	12	4.17	LCr, LN, Pm
-64	-24	8	6.64	LCr, STG / 42	22	38	-16	3.62	RCr, MFG / 11
-60	12	-2	5.20	LCr, STG / 22	-34	32	18	4.16	LCr, IFG / 46
-44	8	4	4.61	LCr, IL / 13	-2	-56	-34	4.13	LCl, CIT
-48	0	48	6.02	LCr, PreG / 6	32	-42	38	3.81	RCr, IPLb / 40
-10	-64	-20	3.48	LCl, declive	-24	10	6	3.33	LCr, LN, Pm
22	-68	48	3.37	RCr, Pc / 7	-20	2	18	3.26	LCr, LN, Pm
30	-66	44	3.35	RCr, Pc / 19					

CnG : cuneus gyrus

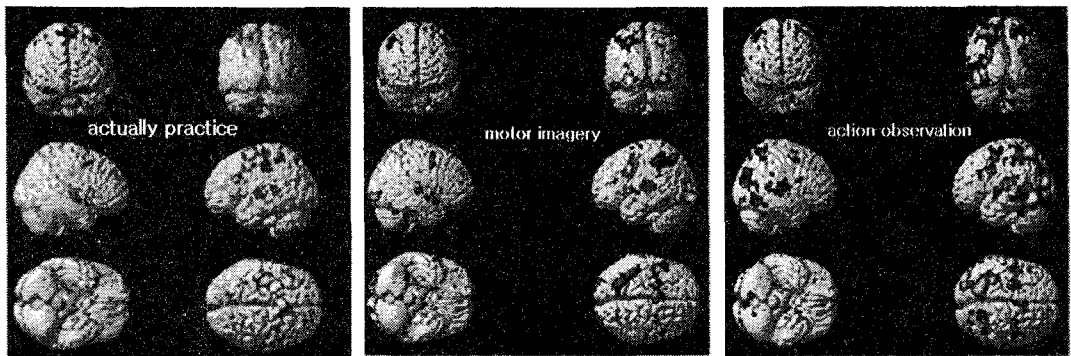


Fig. 2. The representative fMRI results showing brain activation during actually practice, motor imagery and action observation

IV. 고 찰

본 연구에서는 행위의 관찰에 따른 효과만을 검증하기 위해 운동 상상 그룹에게도 화면으로 제시된 자극과 청각적인 자극을 모두 제시하였다. 행위 관찰과 운동 상상 그리고 실제 수행을 통한 운동 학습의 효과를 알아보기 위해 본 연구에 사용된 연속 반응 시간 과제는 운동 학습의 효과를 검사하기

위한 인지 과학 분야에서 가장 널리 쓰이는 운동 과제 중의 하나로 절차 학습(procedural learning)의 효과를 검사할 수 있다(Gazzaniga 등, 2002). 또한 무작위로 제시되는 시·청각적 자극에 합당한 동작을 취해야 하기 때문에 동작의 이해와 학습이 중요하게 작용하게 된다. Breslin 등(2005)은 실제 운동 수행과 행위 관찰 또는 상상 운동을 병행 하였을 때 학습 축진을 극대화할 수 있다고 보고 하였지만

본 연구 결과 신체의 운동이 제한되었을 때 행위 관찰만으로도 실제 운동 수행과 차이가 없는 수행 정확도와 반응속도를 확인할 수 있었다. 이는 신경외과적 또는 정형외과적 물리치료 환자의 침상안정기 동안 행위 관찰을 통한 학습만으로 실제 수행과 같은 운동 학습 촉진 효과를 가져 올 수 있다는 것을 시사한다.

Molnar-Szakacs 등(2006)은 연속적으로 일어나는 복잡한 행위 즉 순서가 있는 블록 쌓기를 관찰하게 하였을 때, 앞이마연합영역(BA 44), 운동 보조 영역(BA 6), 체성연합영역(BA 7), 체성감각영역(BA 2), 시각영역(BA 17, 18, 19) 등이 활성화 되었다고 하였다. 하지만 순차적인 쌓기 방법을 바꾸어 관찰하면 같은 동작을 관찰할 지라도 서로 다른 영역이 활성화 된다고 하였다. 이는 행위 관찰이 행위의 모방을 통한 학습뿐만 아니라 행위의 이해도 돕는 다는 것을 의미한다. 그리고 Cheng 등(2009)의 연구에 따르면 남자와 여자가 같은 행위를 관찰 할 때 감정과 이해의 정도가 달라서 활성화 되는 영역에 차이를 보인다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 연속 반응 시간 과제와 학습 방법에 따른 뇌신경 활성화의 차이만을 알아보기 위해 정상 성인 남자만을 대상으로 하여 실시하였으며, 모든 학습 방법에 각각 다른 방법의 시각적인 자극과 동일한 청각 자극을 제시하였다.

이 단계에서 발생하는 여러 가지 문제들을 해결하기 위해 수행자는 다양한 방법을 시도하게 되고 이는 곧 일관되지 않은 수행행태를 보이게 되거나 많은 오류를 범하게 된다. 이렇게 발생하는 오류를 줄이고 학습의 효과를 증가시키기 위해 인지 단계에서는 언어와 관련된 형태의 되먹임을 제공하게 되는데 이는 이 시기의 기술 습득에 가장 효과적이다. 많은 연구들에서 운동 습득 초기에 이마엽과 관자엽, 그리고 마루엽의 언어영역에서 증가된 활성도를 보인다고 했는데, 언어가 많은 영향을 준다는 연구들의 결과와 일치한다(Orban 등, 2010). 또한 본 연구에서 학습 전 실제 수행 시 소녀의 활성도가 높게 나타났는데 이러한 결과는 소녀가 운동학습의 초기 단계에서 활성화가 많이 일어나고 되먹임을 통하여 실제적인 수행에 제어를 하게 되고 초기의 많은 소녀 활성화는 운동 학습에 있어 되먹임에 많이

의존한다는 것을 의미한다(Halsband와 Lange, 2006).

행위 관찰을 통한 운동 학습 중, 중심앞이랑의 일차운동영역, 운동보조영역, 중간이마이랑의 운동보조영역, 중간이마이랑과 아래이마이랑의 앞이마연합영역, 체성감각영역, 베르니케영역, 아래마루소엽의 브로카 영역이 활성화되었다. 이러한 결과는 행위 관찰을 통한 학습 시 실제 수행과 유사한 영역의 활성이 나타났으며, 실제 수행을 하지 않았지만 중심앞이랑의 일차운동영역(BA 4), 중심뒤이랑의 체성감각영역(BA 2)이 활성화된 것은 행위 관찰이 거울신경계의 활성화로 인해 실제 수행과 같은 기능을 수행해 준다는 것을 의미한다(Rizzolatti, 2005; Tremblay 등, 2004). 본 연구에서는 중간이마이랑, 아랫이마이랑, 중심앞이랑의 운동 보조영역 뿐만 아니라 앞이마연합영역(BA 9)의 활성도를 함께 관찰하여 Rizzolatti(2005)의 연구에서 밝힌 거울신경의 위치가 사람에게서 더욱 넓게 분포한다는 것을 시사한다. 이는 Molnar-Szakacs 등(2006)의 연구에서 복잡한 활동을 관찰하게 하였을 시 이마마루소엽의 거울신경이 활성화되어 동작의 이해를 돕고 따라할 수 있도록 하였다는 보고와 일치하는 내용이다. 또한 오른 손을 이용한 연속 반응 시간 과제의 수행을 관찰 시 우측 아래마루소엽과 아래이마이랑의 베르니케 영역(BA 39, 40) 즉 감각운동연합영역과 위관자소엽의 체성연합영역이 활성화 되는 결과는 초기 운동 학습 동안 감각정보와 되먹임 과정의 통합을 위해 중요한 역할을 하고 아래이마피질 영역은 시각과 청각에 따른 되먹임을 제공하여 운동 학습에 관여한다고 하였다. 이와 같이 행위 관찰을 통한 운동 학습은 실제 수행 시 활성화되는 중심앞이랑(BA 4, 6), 중심뒤이랑(BA 2), 아래이마이랑(BA 9), 중간이마이랑(BA 46)의 공통적인 활성이 나타났으며 이러한 결과는 실제 수행과 행위 관찰이 같은 부분의 뇌 영역 활성을 가져온다는 증거이다(Iacoboni, 2005; Perry와 Bentin, 2009). 이는 행위 관찰이 목적에 맞는 손의 운동에 대한 인지에 의해 운동보조영역(BA 6), 일차운동영역(BA 4), 체성감각영역(BA 2), 앞이마연합영역(BA 9, 46), 베르니케영역(BA 39, 40)의 활성화를 가져오며 이 영역들에 거울신경이 존재한다는 증거이다. 또한 행위 관찰을

통해 학습을 수행하는 동안 일차운동영역(BA 4), 운동보조영역(BA 6), 베르니케영역(BA 40), 앞이마연합영역(BA 9, 46, 47), 브로카 영역(BA 40)에서 좌·우에 동시에 활성화가 나타났고 행위 관찰을 통한 학습 후 실제 수행 시에도 좌·우뇌에서 동시적인 일차운동영역(BA 4), 운동보조영역(BA 6), 앞이마연합영역(BA 9), 브로카영역(BA 40)의 활성도를 보인 것으로 보아 행위 관찰은 오른손과 왼손의 학습을 동시에 도울 수 있다는 것을 의미하며 행위 관찰을 통해 반대편 움직임도 이미지화 한다는 것을 시사한다. 이는 뇌졸중 환자에게 마비되지 않은 사지의 움직임을 거울을 통해 관찰하게 하여 마비된 사지의 움직임 능력의 시각 영상화한다(Stevens과 Stoykov, 2003)는 거울치료(mirror therapy)의 원리를 설명할 수 있는 자료를 제공한 것으로 생각된다.

행위 관찰을 통한 운동 학습을 실시한 그룹에서는 실제 수행을 통한 운동 학습을 실시한 그룹과 유사한 뇌세포 활성 양상을 보였으며, 이는 행위 관찰 시 나타나는 거울신경계의 활성화로 인한 것으로 생각된다. 그러므로 운동 수행이 불가능 할 경우 행위 관찰을 통한 운동 학습이 거울신경의 활성을 통해 실제 수행과 유사한 운동 학습 형태를 보이므로, 운동 상상을 통한 운동 학습보다 효과적인 학습을 유도 할 수 있다는 결론을 내릴 수 있다.

하지만 본 연구는 연속 반응 시간 과제의 수행 시 학습 방법에 따른 뇌활성의 변화만을 관찰하고자 하여 장기적인 학습 시 나타나는 뇌 재조직화와 행동학적인 변화에 대한 결과를 도출하지 못하였다. 향후 여러 가지 행위를 통하여 운동 상상과 행위 관찰이 명확히 이루어지고 있다는 증거를 제공하고 각각의 학습 효과를 규명하며, 실제 뇌졸중발병 초기에 운동을 통한 물리치료가 불가능한 환자에게 운동 상상과 행위 관찰을 제공하여 뇌졸중 환자의 뇌와 기능에 미치는 영향에 대한 좀 더 자세한 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 행위 관찰 시 좌뇌와 우뇌에 동시 활성화의 원인 규명을 위한 자세한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 연속 반응 시간 과제를 통한 운동학습 시 실제 수행과 행위 관찰 그리고 운동 상상이 뇌 활성화에 미치는 영향을 알아보기 위해 수행되었다. 본 연구를 통해 얻은 결과를 종합하면 운동 학습에 있어 실제 수행을 통한 학습이 체성감각을 포함한 학습이 이루어지기 때문에 가장 좋은 학습 방법이며, 실제 수행을 할 수 없는 상황에서는 거울 신경의 활성을 이용한 행위 관찰이 실제 수행과 유사한 양상을 보이는 결과를 보였다. 이러한 결과를 바탕으로, 움직임의 재교육을 실시하는 동안 효과를 높이기 위해서 물리치료를 통한 훈련 프로그램을 계획할 때, 실제 수행이 불가능한 환자들에게 침상 안정뿐만 아니라 행위 관찰이 운동 학습 효과를 높이는데 중요하다고 하겠다.

참 고 문 헌

- 김태호, 박상범, 하준호. 골프퍼팅과제에 대한 운동 심상과 행위 관찰의 학습촉진효과 차이. 한국사 회체육학회지. 2009;36:643-53.
- 박민철. 정신훈련이 편마비환자의 상지기능 향상에 미치는 영향. 부산가톨릭대학교 보건과학대학원 석사학위청구논문. 2006.
- 배성수 외 34명. 신경·근육·관절의 치료, 고유수 용성신경근축진법; 근거에 의한 진단과 중재. 서울. 도서출판 대학서림. 2009.
- 이명희. 신호 형태와 수면 의존성 학습이 운동수행 능력과 뇌 활성화에 미치는 영향. 대구대학교 대학원 박사학위 청구논문. 2009.
- Ashford D, Bennet S, Davids K. Observational modeling effects for movement dynamics and movement outcome measures across differing task constraints: A meta analysis. Journal of motor behavior. 2006;38:185-205.
- Bandura A. Social learning through imitation. In MR Jones (Ed.). Nebraska symposium on motivation. Lincoln. NE: University of Nebraska Press. 1962.
- Braun SM, Beurskens AJ, Borm PJ et al. The effects of mental practice in stroke rehabilitation: a systematic review. Archives of Physical Medicine

- and Rehabilitation. 2006;87(6):842-52.
- Breslin G, Hodges NJ, Williams AM et al. Modelling relative motion to facilitate intra-limb coordination. *Human Movement Science*. 2005;24(3):446-63.
- Buccino G, Binkofski F, Fink GR et al. Action observation activates premotor and parietal area in a somatotopic manner: An fMRI study. *European Journal of Neuroscience*. 2001;13(2):400-4.
- Gazzaniga MS, Ivry RB, Mangun GR. *Cognitive Neuroscience(2)*. New York. W.W.Norton & Company. Ltd. 2002.
- Halsband U, Lange RK. Motor learning in man: a review of functional and clinical studies. *Journal of physiology, Paris*. 2006;99(4-6):414-24.
- Hashimoto K, Higuchi K, Nakayama Y et al. Ability for basic movement as an early predictor of functioning related to activities of daily living in stroke patients. *Neurorehabil Neural Repair*. 2007; 21(4):353-67.
- Iacoboni M. Neural mechanisms of imitation. *Current opinion in Neurobiology*. 2005;15(6):632-7.
- Molnar-Szakacs I, Kaplan J, Greenfield PM et al. Observing complex action sequences: The role of the fronto-parietal mirror neuron system. *NeuroImage*. 2006;33:923-35.
- Cheng YW, Tzeng OJL, Hung D et al. Modulation of spinal excitability during observation of bipedal location. *Neuroreport*. 2005;16(15):1711-4.
- Mulder T, Hochstenbach JBH, van Heuvelen MJG et al. Motor imagery: The relation between age and imagery capacity. *Human Movement Science*. 2007;26(2):203-11.
- Orban P, Peigneux P, Lungu O, Albouy G et al. The multifaceted nature of the relationship between performance and brain activity in motor sequence learning. *Neuroimage*. 2010;49(1):694-702.
- Orrell AJ, Eves FF, Masters RS et al. Implicit sequence learning processes after unilateral stroke. *Neuropsychologica. Rehabilitation*. 2007;17(3):335-54.
- Page SJ, Levine P, Leonard AC. Effects of mental practice on affected limb use and function in chronic stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2005;86(3):399-402.
- Papadelis C, Kourtidou-Papadelis C, Bamidis P et al. Effects of imagery training on cognitive performance and use of physiological measures as an assessment tool of mental effort. *Brain and Cognition*. 2007; 64(1):74-85.
- Perry A, Bentin S. Mirror activity in the human brain while observing hand movement: A Comparison between EEG desynchronization in the μ -range and previous fMRI results. *Brain research*. 2009; 1282:126-32.
- Rizzolatti G, Fogassi L, Gallese V. Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nature Reviews Neuroscience*. 2001;2(9): 661-70.
- Rizzolatti G. The mirror neuron system and its function in humans. *Anat Embryol*. 2005;210:419-22.
- Smith D, Holmes P. The effect of imagery modality on golf putting performance. *Journal of Sport & Exercise Psychology*. 2004;26:385-95.
- Stevens JA, Stoykov ME. Using motor imagery in the rehabilitation of hemiparesis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2003;84(7): 1090-2.
- Tremblay C, Robert M, Pascual-Leone A et al. Action observation and execution: intracranial recordings in a human subject. *Neurology*. 2004; 63:937-8.