

Original Article

Open Access

동작관찰 중 동작 수행 시 시점의 변화에 따른 뇌 활성의 변화

김외진[†] · 심지영 · 이세영 · 진현진
선린대학교 물리치료과

Change of Brain Activation due to Change of Viewpoint in Action during Action Observation: an EEG Analysis Study

Oi-Jin Kim[†] · Ji-Young Sim · Se-Young Lee · Hyun-Jin Jin
Department of Physical Therapy, Sunlin university

Received: November 18, 2016 / Revised: November 23, 2016 / Accepted: November 23, 2016

© 2016 Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

| Abstract |

Purpose: Treatments using a mirror neuron system, such as 3D virtual reality therapy, are used in stroke rehabilitation, but they need to be constructed according to a detailed procedure. The aims of this study were to analyze electroencephalograms (EEG) during relaxation and action while observing first person perspective (1AE) and third person perspective (3AE) videos of the right hand for 20's.

Methods: Thirty participants (Male=4, Female=26) were recruited for this study. Participants were selected by a vividness of movement imagery questionnaire (VMIQ). EEG was measured during relaxation and during action with 1AE and 3AE videos, focusing on the supination and pronation actions of participants' right hands. An absolute mu rhythm, a relatively high alpha power, and a relative beta power were identified. In each group, one-way repeated measures ANOVA was used for statistical analysis.

Results: Measurement of absolute mu rhythms was significantly suppressed for both 1AE and 3AE compared with relaxation in C3 and C4 regions. High alpha wave measurements were significantly suppressed for both 1AE and 3AE in all regions, while beta wave measurements were significantly increased only for 3AE in F3 and F4 regions.

Conclusion: Based on this study, we suggest that the mirror neuron system is activated during actions accompanied by action observation, especially actions with 3AE video observation, which can be a great therapeutic method in stroke rehabilitation.

Key Words: Action with action observation, Electroencephalogram, Mirror neuron system

[†]Corresponding Author : Oi-Jin Kim (ongoingxgune@gmail.com)

I. 서론

동작관찰훈련은 치료사의 도움 없이 환자 스스로 영상 속의 동작을 관찰할 때 활성화되는 거울신경세포 시스템에 이론적 기반을 둔 학습방법이다. 거울신경세포란 특정 동작이나 다른 개체가 움직일 때 관련된 뇌 영역이 활성화 되는 세포들을 말하며, 동작관찰을 통해 활성화되는 신경만으로도 기능적인 부분의 증가를 볼 수 있다고 한다. 동작관찰훈련에 대한 신경생리학적 실험 근거로는 손동작과 발동작을 관찰하였을 때 활성화 되는 뇌 영역이 실제 수행 시 나타나는 활성화 영역과 동일하다고 보고된 것을 들 수 있다 (Buccino et al., 2001). 거울신경시스템은 관찰할 때뿐 아니라 실제적인 운동수행 중에도 대뇌걸질을 활성화시킨다(Rizzolatti et al., 1996). 또한 동작관찰신체훈련은 동작관찰 훈련과 운동심상훈련의 과정을 모두 포함한 신경 네트워크가 포함된다(Buccino et al., 2006). 동작관찰신체훈련 중 거울신경시스템의 활성화가 일어난다는 것은 동작관찰이 뇌졸중 환자의 재활치료에서 손상된 뇌 운동 영역의 회복을 위한 수단으로 사용될 수 있음을 제시한다.

현재까지 정상인을 대상으로 동작관찰을 통해 뇌 활성을 알아보는 연구는 진행되었지만 (Kim, 2013) 동작관찰을 병행한 동작관찰신체훈련에 대한 뇌파를 측정하는 연구는 미흡한 실정이다. 그러므로 본 연구는 실험을 통해 정상성인을 실험 대상으로 하여 상지훈련 과제를 통해 병변 측 부위의 대뇌반구를 활성화 시킬 수 있는 치료방법을 제시하고 이 치료법이 뇌졸중 환자의 상지 운동기능 회복에 기여하는지 알아보려고 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 경상북도 P시 S대학에 재학 중인 학생 중 운동장면 상상검사 vividness of movement imagery questionnaire (VMIQ) 점수 2.8 이하인 대상자를 일차선

정 후 실험에 적합한 오른손잡이 20대 남녀 30명(26명 여자, 4명 남자, 나이는 20~24살 = 20.07)을 대상으로 실시하였다. 연구에 참여한 대상자들은 이 실험에 동의하였으며 실험 전 연구의 목적에 대해 충분히 설명하였다. 연구 실험은 2016년 5월 7~8일, 5월 15~16일 총 4일간 진행되었다. 대상자가 본 연구를 수행하는데 어려움이 없고 동일한 조건에서 연구하기 위해 아래와 같은 선정 조건을 선택하였고, 연구에 참여한 대상자의 선정 기준은 다음과 같다.

- 1) 오른손잡이인 자.
- 2) 운동장면 상상검사에서 2.8이하인 자.
- 3) 실험 전 일주일 간 약을 복용하지 않은 자.
- 4) 실험 하루 전 음주를 하지 않은 자.
- 5) 실험에 동의 한 자.

2. 측정방법 및 도구

뇌파를 측정 전, 측정 오류를 방지하기 위해 금속 액세서리 등을 제거하였고, 대상자는 머리와 등이 완전히 지지되게 의자에 편안하게 앉은 후 벨트와 목갈라를 이용하여(Fig. 1) 움직임을 제거시켜 뇌파의 영향에 미치지 않도록 하였다. 그리고 소음 없고 밝은 환경에서 대상자와 2m 떨어진 빈 화면을 이용하였다. 연구자는 1인칭, 3인칭의 두 가지 모습으로 1초간 뒤침, 1초간 앞침 총 2초간의 동작수행 영상과 대상자에게 안정을 취하고 다음 동작을 위한 기다리는 신호를 가리키는 흰색 빈 화면영상을 편집하였다(Fig. 2). 대상자에게 안정 시와 운동관찰 시 행동을 주의 깊게 관찰 및 수행하라고 지시 한 후 뇌파 측정기



A. Cervical collar.

B. Belt

Fig. 1. Experimental tool.

(LXE3232-RF, LAXTHA Inc, Korea)로 뇌파를 측정하였다. 데이터 수집 및 분석은 뇌파분석 프로그램 (Telescan, LAXTHA Inc, Korea)을 사용하여 대상자들의 뇌파 변화를 분석하였다(Fig. 3).

3. 실험 절차

본 연구에 동의한 대상자들에게 실험순서와 주의사항을 명확히 설명하고, 옆침 뒤침 동작을 수행하도록 알려준 후 이를 간 모의실험을 시행하였다. 일주일 후 모의실험자를 제외하고 4일 간 모의실험과 같은 방식으로 본 실험을 수행하였다. 실험 시간은 안정 시 3분, 1인칭 동작 영상 2분 30초, 흰색 빈 화면 1분, 3인칭 동작 영상 2분 30초, 흰색 빈 화면 1분으로 총 10분이다. 접지전극두피에 부착하기 전, 알코올을 묻힌 솜으로 깨끗하게 닦은 후, 전용 풀을 사용하여 접지가 떨어지지 않도록 양쪽 콧볼(A1, A2)을 기준전극으로 사용하여 F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2 총 8개의 부위에 뇌파 부착 하였고 대상자의 양손은 양쪽 무릎

위에 얹어 15초간 신체를 이완 한 후 실시하였으며 실험절차는 다음과 같다(Fig. 4).

- 1) 뇌파는 지속적으로 10분간 측정
- 2) 뇌파 부착 15초 후, 3분간 흰색 빈 화면을 응시하여 안정 시 뇌파 측정
- 3) 2초간 오른손을 사용한 1인칭 동작관찰신체훈련 후 1초간 휴식을 총 50회 반복하여 2분 30초 동안 보며 뇌파 측정
- 4) 1분간 흰색 빈 화면을 응시하며 안정 시 뇌파측정
- 5) 2초간 오른손을 사용한 3인칭 동작관찰신체훈련 후 1초간 휴식을 총 50회 반복하여 2분 30초 동안 보며 뇌파 측정
- 6) 1분간 흰색 빈 화면을 응시하며 안정 시 뇌파측정

4. 자료 분석

실험 연구의 통계학적 분석은 통계프로그램인 R 통계프로그램을 사용하였다. 분석에 사용된 뇌파의



A. 1st perspective video supination (Lt.), pronation (Rt). B. 3rd perspective video supination (Lt.), pronation (Rt).

Fig. 2. Experimental video.



Fig. 3. Brain wave monitor and electrode placement method.

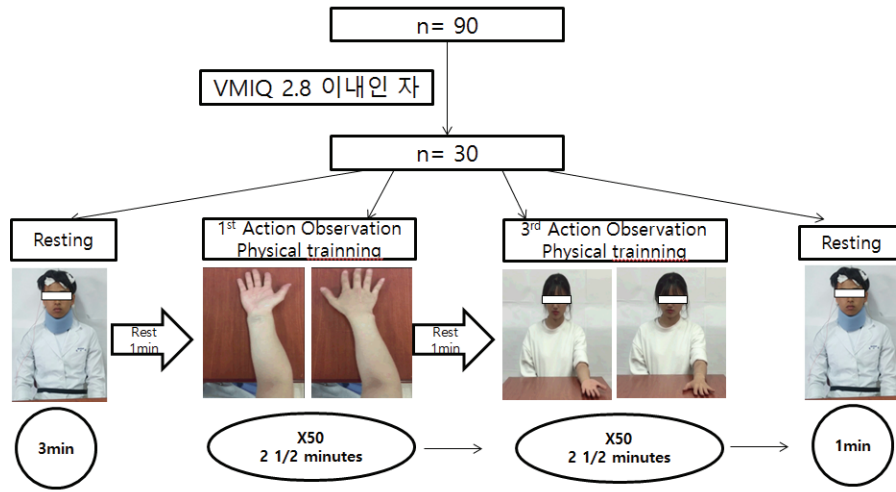


Fig. 4. Experimental design.

파장 대역은 mu wave: 8-13Hz, High alpha wave: 9.8-12.7Hz, Beta wave: 13-30Hz으로 설정하였다. 각 영역 별 안정 시, 1인칭, 3인칭 동작 관찰 중 동작 수행 시 뇌파 변화의 차이를 알기 위해 일원반복측정분산분석을 사용하였다. 유의수준은 0.05로 하였다.

III. 연구 결과

1. 연구 대상자의 일반적인 특성

본 연구의 연구대상자는 신경학적 약물을 복용하지 않는 건강한 20대로 남자 4명, 여자 26명이다. 본 연구 대상자의 평균 나이는 20.13±0.63세이고, VMIQ지수는 1.96±0.38이며, 30명 모두 우세손이 오른손이다(Table 1). 본 연구 대상자의 일반적인 특징은 Table 1과 같다.

Table 1. General characteristics of subjects

Characteristics	Mean
Female	26
Male	4
Age	20.73±1.11
VMIQ	1.96±0.38

Mean±standard deviation

2. 안정 시, 1인칭, 3인칭 동작 관찰 중 동작 수행 시 C3, C4영역에서의 절대 뮤 리듬 로그비

1인칭 동작 관찰 중 동작 수행 시(1AE) C3의 절대 뮤 리듬 로그비는 -0.26±0.22였고, C4의 절대 뮤 리듬 로그비는 -0.26±0.19였다. 3인칭 동작 관찰 중 동작 수행 시(3AE) C3의 절대 뮤 리듬 로그비는 -0.27±0.17이었고, C4의 절대 뮤 리듬 로그비는 -0.26±0.15 이었다. 안정 시에 비해 동작 관찰 중 동작 수행 시 절대 뮤 리듬 로그비가 통계학적으로 유의미하게 억제되었다. 영역 간(C3, C4), 시점 간(1인칭, 3인칭)에는 통계학적 차이가 없었다(Fig. 5)(Table 2).

Table 2. μ -Rhythms

	1st Action execution	3rd Action execution	F	p
C3	-0.26±0.22	-0.27±0.17	26.57	<0.01
C4	-0.26±0.19	-0.26±0.15	37.71	<0.01

Mean±standard deviation

3. 안정 시, 1인칭, 3인칭 동작 관찰 중 동작 수행 시 고알파파 상대파워

고알파파의 상대파워는 이마부, 중앙부, 마루부, 뒤통수부 영역에서 안정 시에 비해 1AE와 3AE 수행

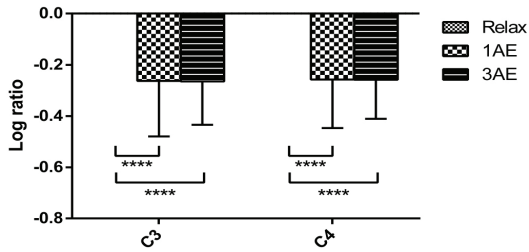


Fig. 5. Mu suppression. Bars represent the mean log ratio of power in the mu frequency (8-13 HZ) during executing Action with observing first person perspective video (1AE, light gray), third person perspective video(3AE, black) over the power in relax for C3 and C4. Error bars represent the standard deviation. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.005$, **** $p < 0.0001$.

시 통계학적으로 유의미하게 감소하였다(Fig. 6). 안정 시 C3의 고알파파 상대파워는 0.18 ± 0.08 이었고, C4의 고알파파 상대파워는 0.16 ± 0.09 였다. 1AE 수행 시 C3의 고알파파 상대파워는 0.09 ± 0.03 이었고, C4의 고알파파 상대파워는 0.08 ± 0.04 였다. 3AE 수행 시 C3의

고알파파 상대파워는 0.08 ± 0.04 였고, C4의 고알파파 상대파워는 0.08 ± 0.04 였다(Table 3).

4. 안정 시, 1인칭, 3인칭 동작 관찰 중 동작 수행 시 베타파 상대파워

베타파의 상대파워는 마루부와 뒤통수부에서는 안정 시에 비해 1AE와 3AE 수행 시 모두에 통계학적으로 유의미하게 증가하였지만, 이마부에서는 3AE 수행 시만 통계학적으로 유의미하게 증가하였으며, 중앙부에서는 3AE 수행 시에는 양측 모두 통계학적으로 유의미하게 증가하였지만, 1AE 수행 시에는 C3영역에서만 통계학적으로 유의미하게 증가하였다(Fig. 7, Table 3). 안정 시 F3의 베타파 상대파워는 0.28 ± 0.12 였고, F4의 베타파 상대파워는 0.25 ± 0.13 이었다. 1AE 수행 시 F3의 베타파 상대파워는 0.30 ± 0.10 이었고, F4의 베타파 상대파워는 0.28 ± 0.12 였다. 3AE 수행 시 F3의 베타파 상대파워는 0.34 ± 0.12 였고, F4의 베타파 상대파워는 0.31 ± 0.11 이었다.

Table 3. Changes of brainwaves

	Area	Relax (V)	1AE (V)	3AE (V)	F	p
Relative high alpha	F3	0.09 ± 0.04	$0.05 \pm 0.02^{**}$	$0.05 \pm 0.02^{***}$	16.64	0.00
	F4	0.10 ± 0.07	$0.04 \pm 0.04^{**}$	$0.05 \pm 0.03^{**}$	13.75	0.00
	C3	0.18 ± 0.08	$0.09 \pm 0.03^{****}$	$0.08 \pm 0.04^{****}$	30.76	0.00
	C4	0.16 ± 0.09	$0.08 \pm 0.04^{**}$	$0.08 \pm 0.04^{***}$	15.49	0.00
	P3	0.30 ± 0.14	$0.15 \pm 0.08^{****}$	$0.15 \pm 0.06^{****}$	34.38	0.00
	P4	0.27 ± 0.13	$0.13 \pm 0.07^{****}$	$0.14 \pm 0.07^{****}$	29.90	0.00
	O1	0.27 ± 0.16	$0.12 \pm 0.09^{****}$	$0.12 \pm 0.07^{***}$	23.89	0.00
	O2	0.28 ± 0.15	$0.13 \pm 0.09^{****}$	$0.12 \pm 0.06^{****}$	29.44	0.00
Relative beta	F3	0.28 ± 0.12	0.30 ± 0.10	$0.34 \pm 0.12^*$	4.58	0.02
	F4	0.25 ± 0.13	0.28 ± 0.12	$0.31 \pm 0.11^{**}$	5.15	0.02
	C3	0.25 ± 0.07	$0.29 \pm 0.07^{**}$	$0.32 \pm 0.06^{***}$	14.37	0.00
	C4	0.26 ± 0.09	$0.28 \pm 0.08^{**}$	$0.31 \pm 0.08^*$	5.02	0.02
	P3	0.22 ± 0.07	$0.27 \pm 0.06^{**}$	$0.28 \pm 0.06^{***}$	16.80	0.00
	P4	0.23 ± 0.08	$0.27 \pm 0.06^{**}$	$0.28 \pm 0.06^{**}$	9.52	0.00
	O1	0.28 ± 0.09	$0.33 \pm 0.07^{**}$	$0.34 \pm 0.06^{**}$	13.60	0.00
	O2	0.28 ± 0.08	$0.34 \pm 0.07^{***}$	$0.35 \pm 0.07^{****}$	25.03	0.00

Mean±standard deviation

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.005$, **** $p < 0.0001$

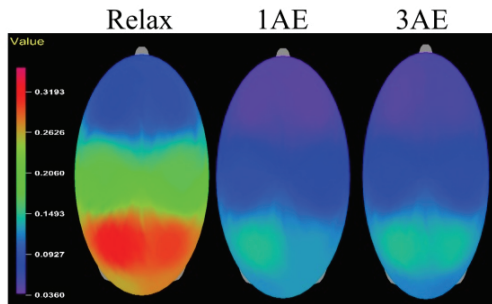


Fig. 6. High-alpha wave relative power. Topographical map represent the relative power in the high alpha frequency during relaxing, performing 1AE and 3AE.

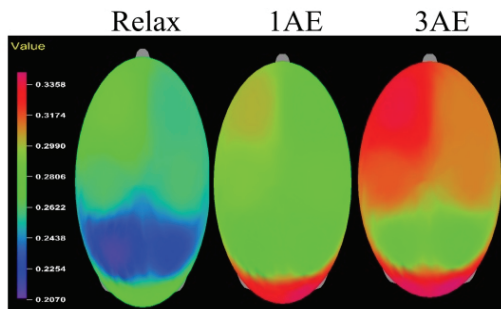


Fig. 7. Beta wave relative power. Topographical map represent the relative power in the beta frequency during relaxing, performing 1AE and 3AE.

IV. 고 찰

알파파는 대뇌 겉질의 신경세포와 시상의 신경세포들이 긴 신경섬유를 통한 흥분성, 억제성 상호작용에 의해 발생한다(Andreassi, 1995; Grillon & Buchsbaum, 1986). 눈을 감고 있거나 조용한 환경에서와 같이 정신적으로 안정 시에 알파파는 활성화되며, 암산과 같은 인지적 활동을 할 때 알파파는 차단(α -blocking) 된다(Kim, 2009). 알파파는 안정을 취할 때 증가하지만, 주의집중 할수록 감소된다(Pfurtscheller et al., 2005). Kim (2001)에 따르면 편한 자세를 취함으로써 몸을 이완하여 뇌 활동이 안정화되고 이는 상대

알파파가 감소되었다고 말한다. Song (2011)의 연구에서는 행동관찰이 뇌파에 미치는 영향을 알아보기 위해 건강한 성인을 대상으로 스키시뮬레이션 행동을 관찰하는 행동관찰군, 실제 스키시뮬레이션을 수행하는 실제운동군, 안정 상태를 취하는 대조군으로 하여 각 10명씩 무작위로 배정하였다. 뇌파로 측정된 결과 상대알파파는 실제운동군과 행동관찰군에서 감소하는 경향을 보였고, 대조군은 증가하는 경향을 보였다. 본 연구에서도 오른손을 이용한 엮침, 뒤침 과제를 통해 1인칭, 3인칭 동작 관찰 중 동작 수행 시 상대알파파가 억제된 것으로 나타났다. 이에 따라서 동작관찰은 동작 수행 시 뇌의 활성화에 영향을 미치고 상대 알파파가 억제된다는 선행 연구와 유사한 결과를 나타났다.

알파파와 주파수가 동일한 뮤 리듬은 감각운동결질인 C3, C4에서 발생하는 8~13Hz의 주파수로 (Muthukumaraswamy & Johnson, 2004a) 안정 시에 활성화 되고 동작관찰 시 감소하는 특성이 있다고 보고된다. 이러한 억제되는 현상을 뮤 억제(Mu suppression)라고 한다. 뮤 리듬은 인간의 거울신경시스템 측정 시 사용가능한 지표로 뒷받침 되는데 이는 뮤리듬이 발생하는 일차감각운동결질과 거울신경시스템이 존재할 것으로 추정되는 배측운동앞결질이 서로 연결되어 있다는 해부학적 근거가 제시되고 있기 때문이다(Nishitani & Hari, 2000). 타인의 움직임을 관찰하는 것은 실제 동작 수행과 관련된 뇌 영역을 활성화하는 것으로 밝혀졌다(Buccino et al., 2001; Rizzolatti et al., 2001). Muthukumaraswamy (2004a, 2004b)의 실험에서 연구대상자가 물체를 잡는 장면을 관찰하는 동안 뇌 겉질에 발생하는 뇌파를 측정된 결과 감각운동결질의 뮤 리듬이 활동관찰 시 유의하게 낮아진다는 것을 발견하였다. 이는 과제 지향적 운동을 관찰하는 것이 운동결질을 효과적으로 활성화시킬 수 있다는 것을 의미한다. Cochlin 등(1999)도 뇌파 측정 연구에서 동작 관찰할 때와 실제 움직임을 수행할 때 똑같은 뮤 리듬 변화가 관찰되었다고 보고하였고, Kim 등(2015)의 연구에서는 상지를 사용한 겹 쌓기 연속과제를 이용하여 동작 관찰 및 동작수행을 한 결과 뮤 리듬이 유의하

게 억제된다고 보고하였다. 또한 Kim 등(2014)은 거울 신경시스템의 활성화 정도를 연구하여 동작관찰과 PNF 댄스 수행에서 절대 무 리듬이 억제하는 것을 보아 임상적 치료로써 긍정적인 영향을 미칠 것이라고 보고하였다. 거울신경세포의 활성화를 암시하는 무 리듬이 뇌졸중환자와 일반인 간의 차이가 없었다는 연구결과가 있어(Lee & Kim, 2011) 동작관찰 훈련이 뇌졸중 환자의 재활 운동으로 가능성을 제시하고 있다. Yun 등(2011)은 뇌졸중 환자에서 동작관찰 시 거울신경시스템의 활성화 차이를 무 리듬 억제를 통해 알아본 결과 무 리듬 로그비는 감소하였고 거울신경시스템은 동작을 관찰하는 동안 더 활성화 된다고 보고하였다. 본 연구의 결과에서도 선행 연구와 동일하게 동작 관찰을 병행한 운동 수행 시 뇌파를 측정할 결과 안정 시 보다 운동 수행 시 무 리듬의 억제가 크게 나타났다.

알파파와 반대로 두뇌의 각성상태와 밀접한 관련이 있는 베타파(Andreassi, 1995; Larson et al., 1998; Luria, 1974, 1980)는 주의를 집중하여 정신활동 수행 시 이마엽과 마루엽에서 높은 활성도가 나타난다. 주의 집중하여 동작관찰 시 알파파의 억제현상과 함께 대뇌 겉질에 있는 신경세포들 사이의 상호작용에 의해 활성화 된다. 대부분의 선행연구에서 행동 관찰과 운동수행 시 알파파의 감소와 베타파의 증가 등의 변화가 일어난다. Kim (2001)은 중학생을 대상으로 시청각자료를 관찰하며 뇌파를 측정할 연구에서 알파파는 감소하고 베타파는 증가한다고 보고한다. 또한 Song (2011)의 연구에서 뇌파를 측정할 결과 알파파의 감소와 함께 실제행동군과 행동관찰군은 공통적으로 마루엽에서 베타파의 활성도가 나타났다고 보고한다. 이는 본 연구에서 이마엽과 마루엽에서 베타파의 활성도가 일어났다는 것과 일부 일치한다.

행동관찰은 상대방의 운동을 보고 해당 운동 활동의 분석과 이해를 하는 행위이다. 이러한 수의적 운동의 인지는 마루-이마엽 영역 및 전운동겉질의 거울신경계를 통해서 이루어지는 것으로 알려져 있다 (Filimon et al., 2007; Rizzolatti & Craighero, 2004). 모방

은 STS (superior temporal sulcus)의 거울 신경계 활성을 유도하며(Buccino et al., 2004), STS와의 해부학적 연결성으로 인해 PF (inferior parietal lobule)의 거울신경계의 활성화 또한 유도하게 된다(Seltzer & Pandya, 1994). 따라서 모방행동의 신경학적 경로의 신경정보 흐름은 전방정보모델(forward model; frontal->parietal->superior temporal sulcus)과, 역행정보모델(inverse model; superior temporal sulcus->parietal->frontal)로 나타나게 된다(Haruno et al., 2001; Miall, 2003). 모방-시도 관찰 기법(observation with intent to imitate, OTI)은 이러한 운동관찰과 모방에 대한 신경과학적 근거를 가지고 뇌졸중환자등에 적용하는 치료법으로써 환자의 운동 기억능력 형성과 수행능력 향상에 도움을 주는 것으로 알려져 있다(Celnik et al., 2006, 2008). 본 연구에서 3인칭동작관찰 중 동작수행 시에서만 마루-이마엽 영역 및 전운동겉질의 베타파가 통계학적으로 유의미하게 활성화 되었다. 이 결과는 1인칭에 비해 3인칭의 영상을 관찰할 경우 전운동영역에서의 운동관찰 및 분석을 담당하는 거울 신경계가 활성화 되었다고 판단되며, 모방의 전방정보모델과 역행정보모델의 흐름에 따라 이마엽-마루엽으로 이어지는 거울신경계의 활성을 유도했다고 해석된다.

V. 결론

행동 관찰을 동반한 운동수행은 뇌의 거의 모든 범위를 활성화시킴으로써 손상된 뇌신경 주변의 추가적인 손상을 억제시키며, 신경가소성을 일으켜 손상부의 역할을 대체하게끔 한다. 특히 이마-마루엽의 거울신경계와 전운동영역, 일차운동영역의 중추신경계를 활성화는 환자의 손상된 운동능력을 향상시켜줄 수 있으며, 이를 위해 임상에서 OTI기법이나 3D가상현실을 사용한 치료법들이 적용되고 있다. 본 연구의 연구결과 1인칭 보다 3인칭 동작관찰 중 동작수행 시에 이마-마루엽의 거울신경계와 전운동영역, 일차운동영역의 중추신경계를 활성화가 이루어졌다는 사실

은 모방관련 치료법을 적용 시에 제공되어야 할 영상의 시점을 결정하는데 중요한 과학적 근거를 제공한다.

Reference

- Andreassi JL. Psychophysiology: human behavior and physiological response, 3rd edition. New Jersey. Hillsdale. 1995.
- Buccino G, Binkofski F, Fink GR, et al. Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *The European Journal of Neuroscience*. 2001;13(2):400-404.
- Buccino G, Lui F, Canessa M, et al. Neural circuits involved in the recognition of actions performed by nonconspecifics: an fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2004;16(1):114-126.
- Buccino G, Vogt S, Ritzl A, et al. Neural circuits underlying imitation learning of hand action: an event-related fMRI study. *Neuron*. 2004;42(2):323-334.
- Buccino G, Solodkin A, Small SL. Functions of the mirror neuron system: implications for neurorehabilitation. *Cognitive and Behavioral Neurology*. 2006;19(1):55-63.
- Celnik P, Stefan K, Hummel F, et al. Encoding a motor memory in the older adult by action observation. *Neuroimage*. 2006;29(2):677-684.
- Celnik P, Webster B, Glasser DM, et al. Effects of action observation on physical training after stroke. *Stroke*. 2008;39(6):1814-1820.
- Cochin S, Barthelemy C, Roux S, et al. Observation and execution of movement: similarities demonstrated by quantified electroencephalography. *European Journal of Neuroscience*. 1999;11(5):1839-42.
- Filimon F, Nelson JD, Hagler DJ, et al. Human cortical representations for reaching: mirror neurons for execution, observation, and imagery. *Neuroimage*. 2007;37(4):1315-1328.
- Gazzaniga MS, Ivry RB, Mangun GR. Cognitive neuroscience: the biology of the mind, 2nd Edition. New York. W. W. Norton & Company, Incorporation. 2002.
- Grillon C, Buchsbaum MS. Computed EEG topography of response to visual and auditory stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. 1986;63(1):42-53.
- Haruno M, Wolpert DM, Kawato M. Mosaic model for sensorimotor learning and control. *Neural Computation*. 2001;13:2201-2220.
- Kim JW, Roh HM, Son WB, et al. PNF dance and mirror neurons: comparative analysis of electroencephalogram difference between action observation and motor performance. *Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association*. 2014;12(1):1-31.
- Kim JY, Kim JM, Ko ET. The effect of the action observation physical training on the upper extremity function in children with cerebral palsy. *Journal of Exercise Rehabilitation*. 2014;10(3):176-183.
- Kim WT. The effects of EEG activity pattern by Paul Dennison's brain gym. YongIn University. Dissertation of Master's Degree. 2009.
- Kim YJ, Chang NK. Changes of the prefrontal EEG (electroencephalogram) activities according to the repetition of audio-visual learning. *Journal of the Korean association for science education*. 2001; 21(3):516-528.
- Kim YR, Park SJ, Yang JW, et al. EEG analysis of action observation and action with action observation during unilateral and bilateral upper extremity activity in 20's. *Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association*. 2015.
- Larson CL, Davidson RJ, Abercrombie HC, et al. Relations between PET-derived measures of thalamic glucose metabolism and EEG alpha power. *Psychophysiology*.

- 1998;35(2):162-169.
- Lee MK, Kim JM. The effect of action observational training on arm function in people with stroke. *Physical Therapy Korea*. 2011;18(2):27-34.
- Luria AR. The working brain. New York. Basic Books. 1974.
- Luria AR. Higher cortical functions in man, 2nd edition. New York. Basic Books. 1980.
- Miall RC. Connecting mirror neurons and forward models. *NeuroReport*. 2003;14(17):2135-2137.
- Muthukumaraswamy SD, Johnson BW. Changes in rolandic mu rhythm during observation of a precision grip. *Psychophysiology*. 2004a;41(1):152-156.
- Muthukumaraswamy SD, Johnson BW, McNair NA. Mu rhythm modulating during observation of an object-directed grasp. *Cognitive Brain Research*. 2004b;19(2):195-201.
- Nishitani N, Hari R. Temporal dynamics of cortical representation for action. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2000;97(2):913-918.
- Perry A, Bentin S. Mirror activity in the human brain while observing hand movements: A comparison between EEG desynchronization in the mu-range previous results. *Journal of Brain Research*. 2009;1282:126-132.
- Pfurtscheller G, Neuper C, Brunner C, et al. Beta rebound after different types of motor imagery in man. *Neuroscience Letters*. 2005;378(3):156-159.
- Rizzolatti G, Fadiga L, Gallese V, et al. Premotor cortex and the recognition of motor action. *Cognitive Brain Research*. 1996;3(2):131-141.
- RRizzolatti G, Fogassi L, Gallese V. Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and the imitation of action. *Nature Reviews Neuroscience*. 2001;2(9):661-670.
- Rizzolatti G, Craighero L. The mirror neuron system. *Annual Review of Neuroscience*. 2004;27:169-192.
- Seltzer B, Pandya DN. Parietal, temporal, and occipital projections to cortex of the superior temporal sulcus in the rhesus monkey: a retrograde tracer study. *Journal of Comparative Neurology*. 1994;343(3):445-463.
- Song JC, Hwang TY, Kang JH, et al. Changes in electroencephalogram for action observation of ski simulation. *Journal of the Korean Academy of Clinical Electrophysiology*. 2011;9(1):15-21.
- Wilson TW, Slanson E, Asherin R, et al. An extended motor network generates beta and gamma oscillatory perturbations during development. *Journal of Brain and Cognition*. 2010;73(2):75-84.
- Yun TW, Lee MK. The change of Mu rhythm during action observation in people with stroke. *Journal of the Korean Society of Physical Medicine*. 2011;6(3):361-368.