

## 운동 연상과 운동 관찰

한림대학교 의과대학 재활의학교실

최은희 · 전아영 · 유우경

### Motor Imagery and Action Observation

Eun Hi Choi, M.D., Ah Young Jun, M.D. and Woo Kyoung Yoo, M.D.

Department of Rehabilitation Medicine, Hallym University College of Medicine

In the rehabilitation, the real executive movement has been considered the main tool for motor recovery and motor learning. Many studies reported that active exercising creates a flow of sensory information which can change neuroplasticity. Recently the numerous studies report that both the imagery and the observation of a movement increase corticospinal excitability of primary motor cortex and activation of M1 area similar to the real execution of the movement. And the studies also report that these central activations occur in a specific manner. Now many people consider the imagery and observation can be a new therapeutic tool in rehabilitation especially for who can not execute a real motion at all due to neurologic deficit. We will review the articles reported the central nerve system changes by the imagery and observation of an action compared with the executive motion. And most of these experimental studies were based on the results of the healthy subjects, we discussed about the limitation of these therapeutic strategies according to the aging process and to the brain dysfunction. (**Brain & NeuroRehabilitation 2010; 3: 70-76**)

**Key Words:** action observation, executive motion, motor imagery, motor learning

## 서 론

새로운 기술을 습득하거나 숙달된 완벽한 동작을 하기 위해서 지속적인 동작의 반복 연습을 통한 직접적 훈련 방법 외에도 다른 사람의 숙달된 운동동작에 대한 관찰법과 지속적인 운동연상에 의한 정신적 훈련방법이 사용되고 있다.

이러한 관찰법이나 운동연상법과 실제 운동과의 관계는 신경생리적인 관점에서 볼 때 운동에 대한 지각이나 인지가 일련의 과정을 거치면서 실제적인 운동으로 변환되는 과정으로 설명할 수 있으며 이들의 효과에 대한 운동심리학이나 신경생리학적 연구들에 의해 그 효과가 입증되고 있다.<sup>1,2</sup>

최근 들어 개발된 뇌영상 기술과 경두개 자기자극과 같은 새로운 전기생리학적 연구기술은 운동연상이나 관찰에 대한 신경학적 회로 및 신경망 이들 현상의 인과관계 및 이들 간에 일어나는 여러 다양한 작용을 연구를 가능하

게 하여 운동 연상, 운동 관찰 그리고 직접적인 운동 수행이 일어날 때 공통적으로 전 운동피질(premotor cortex), 보조 운동 영역(supplementary motor area), 하 두정소엽(inferior parietal lobule), 대상회전(cingulate gyrus), 그리고 소뇌(cerebellum)에서의 활성화가 일어난다고 밝혀졌다.<sup>3,4</sup>

운동 수행(Movement execution), 운동 연상(motor imagery), 운동관찰(action observation)은 기본적으로는 동일한 작동 메커니즘을 공유하며(Central Simulation hypothesis), 운동 연상과 관찰은 motor system의 offline operation 즉 internal simulation에 해당한다는 연구 결과들을 바탕으로 운동 연상과 관찰과 같은 정신적 훈련법이 직접적 운동 훈련법에 대신하여 motor (Re) learning의 역할을 할 수 있을 것으로 기대되어지고 있다.

## 본 론

### 1) 운동 연상(motor imagery)

#### (1) 운동 연상이란

특정 동작의 발현 과정에서 내적으로만 활성화되고 움직임으로 실현되지 않는 상태를 말하며, 이러한 현상은 근육의 활성화나 실제적인 움직임 없이 동작을 상상하는 인지활동의 일종으로 운동의 준비와 실행에 관여하는 뇌 영

교신저자: 최은희, 춘천시 교동 153번지

☎ 200-704, 춘천성심병원 재활의학과

Tel: 033-240-5299, Fax: 033-240-5326

E-mail: ceh@hallym.or.kr

역에서의 의식적인 활성화와 함께 수의적 제어를 통해 운동의 발현을 억제하는 과정이 동반되어야 가능하다.

이러한 뇌 영역의 활성화는 연상된 운동의 종류(modality)와 상관없이 비특이적으로 발현되는 것이 아니라 연상된 운동의 형태에 따라 특이적으로 뇌 내부의 특정 감각-운동역을 활성화시키게 된다.

## (2) 운동 연상에 의한 신경망의 활성화(activated neural network in motor imagery)

뇌 영역 중 운동 수행 시 활성화되는 영역과 운동 연상 시 활성화 되는 영역은 유사하며 활성화되는 영역은 전 운동영역, 보조 운동 영역, 대상 영역과 두정 피질 영역, 기저핵, 소뇌(premotor, supplementary motor, cingulate and parietal cortical areas, basal ganglia, cerebellum) 등<sup>5,6</sup>이 알려져 있으며, 무음건반을 연주할 때는 뇌신경망 중 왼쪽 일차성 운동감각영역(left primary sensorimotor area), 왼쪽 소뇌(left cerebellum), 전 운동영역과 보조 운동 영역(premotor와 supplementary motor areas), 마루옆속고랑(intraparietal sulci), bilateral extrastriate visual areas가 활성화되며 연주를 연상할 경우는 왼쪽 일차성 운동감각영역(left primary sensorimotor area)와 오른쪽 소뇌(right cerebellum)를 제외한 동일한 신경망이 활성화된다는 연구결과도 보고되고 있다.<sup>7</sup>

일부 연구에서는 운동연상 시 일차성 운동피질영역(primary motor cortex) 활성화를 확인할 수 없다고 보고하였으나,<sup>8-11</sup> 2004년 Spiegler 등<sup>12</sup>이 혀의 전방운동(tongue protrusion) 연상 시 양측 일차성 운동피질영역(bilateral primary motor cortex)의 활성화를 보고하였고 이 외 여러 연구들에서도 일차성 운동피질영역(primary motor cortex) 활성화를 보고하고 있다.<sup>13-16</sup> 이제까지 주로 연구되어 온 수부, 수지, 입에 대한 연구 외에 보행(locomotor movement)에서도 운동 연상과 운동수행 시 모두 전 보조 운동 영역(pre-supplementary motor area)와 일차성 운동 피질 영역(primary motor cortex)에서 유사한 활성화가 관찰되었다.<sup>17</sup>

## (3) 운동 연상과 운동 수행 간의 정신적 등시성(mental isochrony)

2001년 Parsons 등<sup>18</sup>의 “handedness judgment and mental rotation” 연구에서 손 그림에 대한 좌우 식별은 그림이 회전각도가 클수록 더 많은 시간이 필요하고 생역학적으로(biomechanically) 비정상적인 자세에서 더 많은 시간을 소요하게 된다는 결과를 보고하였다. 실제 운동할 때 필요한 시간과 이러한 운동의 연상을 마치는데 필요한 시간이 비슷한 것을 정신적 등시성(mental isochrony)이라 하고 이러한 현상은 운동 연상이 단순한 시각적 상상(visual

imagery)이 아닌 자신의 팔과 손 동작에 관여하는 일련의 과정에 대한 실질적인 작업(task)이기 때문인 것으로 설명하였다.

## (4) 운동 연상에 의한 체영역별 중추 활성화(somatotopic central activation)

1999년 Fadiga 등<sup>19</sup>은 전완의 굴곡 운동에 대한 운동 연상 시 해당 근육인 위팔두갈래근(biceps brachialis)의 MEPs 활성화가 일어나지만 이러한 현상은 전완의 신전운동(forearm extension)에 대한 연상 시에는 보이지 않아 운동 연상이 일반적 근육 각성(generalized muscular arousal) 현상이 아니고 운동 특이적(movement-specific) 중추 활성화(central activation) 현상임을 밝힌 바 있다.

Stippich 등<sup>20</sup>은 운동 연상 시 일어나는 뇌의 활성화 영역은 연상된 신체부위(foot, hand and tongue)에 따라 중심앞이랑(precentral gyrus)의 각기 다른 부위에서 관찰되며 이러한 현상을 체영역별 중추 활성화(somatotopic central activation)이라고 하였으며, Ehrsson 등<sup>21</sup>도 수지부, 혀, 족지부(inger, tongue, toe) 부위의 운동연상에 따라 일차 운동영역(primary motor cortex)에서 각기 다른 somatotopically organized areas에 활성화가 나타남을 보고하였다.

## (5) 운동역학적 & 시각적 운동 연상(kinesthetic & visual motor imagery)

운동 연상의 구체적인 방법은 운동역학적 운동 연상(kinesthetic motor imagery)와 시각적 운동 연상(visual motor imagery)으로 구분되는데 kinesthetic motor imagery는 대상자가 모든 감각적 추이에 따라 스스로 움직이는 것처럼 느끼는 것이고(first person perspective), visual motor imagery는 본인이 조금 떨어진 곳에서 움직이는 것을 보는 것처럼 상상 하는 것이다(third person perspective).

2003년 Ruby와 Decety<sup>22</sup>는 두 방법 모두 공통적으로 SMA, 중심앞이랑(precentral gyrus), 뺨기앞소엽(precuneus)의 활성도를 볼 수 있으며 First perspective는 왼쪽 아래두정엽(left inferior parietal lobule), 왼쪽 체감각피질(left somatosensorycortex)에서 third person perspective는 우측 하두정엽(right inferior parietal lobule), posterior cingulate, fronto-polar cortex에서 각각 활성도를 보이는 차이가 있다고 하였다.

Stinear 등<sup>23</sup>의 최근 연구에서는 kinesthetic motor imagery에서만 corticomotor excitability를 확인할 수 있었다고 보고하였고, 연상의 방법에 있어 kinesthetic motor imagery가 motor learning에 있어 visual motor imagery 보다 효과적이라고 하였다.<sup>24</sup>

## (6) 동작의 복잡성(behavioral complexity)과 연관된 중추 활성화(central activation)

Brighina 등<sup>25</sup>은 단순한 모지의 외전운동과 순차적인 대립운동(opposition)에 대한 연구에서 두 가지 운동관찰 시 좌우 대뇌의 대뇌피질 흥분도의 변화에 미치는 영향을 살펴본 결과 관찰된 운동의 복잡함의 정도에 따라 양측 대뇌피질의 흥분도가 증가한다고 하였고, Kuhtz-Buschbeck 등<sup>26</sup>도 고무공을 쥐었다 놓는 단순동작과 순차적인 대립운동인 복잡한 동작에 대한 운동연상을 시행할 때 경두개 자기 자극 시 나타나는 모지 대립근(opponens pollicis)의 운동 유발전위의 진폭 변화를 측정할 결과 안정 시에 비해 유의미한 증가는 복잡한 운동에서만 관찰되었다고 보고하고 있어 관찰 혹은 연상된 운동의 복잡성 여부에 따라 대뇌 활성화 정도에 차이가 있음을 알 수 있다.

## 2) 운동 관찰(action observation)

### (1) Mirror neuron system

Monkey의 배쪽 전 운동영역의(ventral premotor cortex (F5)) rostral part에서 goal-directed hand movements의 동작 관찰 시 활성화되는 소위 “Mirror neurons”이라고 불리는 영역이 발견된 이래 1995년 Fadiga 등<sup>27</sup>이 TMS study를 통해서 운동 관찰에 의한 motor pathway의 활성화를 확인함으로써 human에서 mirror system의 존재가 밝혀졌다. 이후 계속된 뇌영상 연구 결과 goal-directed hand movements에 대한 인지에 의해 premotor cortex, 중간관자이랑(middle temporal gyrus), 아래중간이마이랑(inferior and middle frontal gyri), parietal cortex에서 rCBF가 증가되며,<sup>28-30</sup> 수부의 운동이 아닌 communicative, speech-related mouth movements에서도 운동 관찰에 의한 motor system이 활성화를 확인할 수 있었다.<sup>31</sup>

### (2) 시차적 특이성(phase specificity)

뇌영상 연구들과 다르게 관찰자의 운동시스템이 운동의 관찰에 의해 실시간 복제되는 것을 보여 줄 수 있는 경두개 자기자극 연구를 통해 Gangitano 등<sup>32</sup>은 집게손가락집기 동작(pincer grasping)을 관찰하는 동안 각기 다른 시간 간격으로 제1 배측 골간근에서 운동유발전위를 측정할 결과 운동 유발전위의 활성화되는 시점이 동작에 대한 관찰이 이루어진 시간과 일치하여 운동 관찰과 대뇌피질의 흥분도의 변화 사이에 시간적 연계성이 있다고 보고하였다.

### (3) 관찰된 대상물의 특이성(observed subject specificity)

Buccino 등<sup>33</sup>의 뇌영상 연구에서 관찰자가 humans (silent speech), monkeys (lip smacking), dogs (barking)의

mouth action을 관찰할 때 human silent speech를 관찰할 때에는 왼쪽아래이마이랑의 덮개부분(pars opercularis of left inferior frontal gyrus), 브로카영역의 전 운동영역(premotor section of Broca's region)가 활성화되고, monkey lip smacking에는 같은 영역이 활성화되지만 더 작은 범위의 활성화를 보이는 반면 barking dog에서는 단지 extrastriate visual areas만이 활성화되는 것을 볼 때 관찰 대상에 따라 대뇌 활성화에 차이가 있음을 알 수 있다고 하였다.

### (4) 관찰된 동작의 신체 부위(effector) 및 물체(object)에 대한 특이성(specificity)

Mirror neuron의 활성화는 관찰된 동작이 biological effector (hand)가 사물(object)과 interact하는 것일 때에만 일어나고 동작이 손이 아닌 도구를 이용하여 수행될 때나 동작이 사물 없이 진공(vacuo) 상태로 수행될 때에는 이러한 활성화를 관찰할 수 없다.<sup>34-36</sup>

### (5) 운동 관찰에 의한 체영역별 중추 활성화 (somatotopic central activation)

2001년 Buccino의 연구<sup>37</sup>에서 관찰자에게 동작자의 몇몇 신체 부위별(arm, hand, mouth and foot) object-related and non-object-related movements 동작에서 biting an apple and chewing (mouth actions), reaching and grasping a ball or a little cup (hand actions), kicking a ball or pushing a brake (foot actions) 동작들을 관찰한 결과 입 운동 관찰 시 양측 배쪽영역6(bilateral ventral area 6) and area 44, right area 45, 손동작 관찰 시 bilateral more dorsal part of ventral area 6, bilateral dorsal sector of area 44, 발동작 관찰 시 bilateral dorsal sector of area 6가 각각 활성화되어 다른 효과기(effectors) 동작에 의해 다른 pre-motor cortex 뇌 영역에 활성화가 일어나는 것을 확인하였고 이로 인해 운동 관찰 시 hand, mouth, foot 동작에 따라 기존의 classical motor cortex homunculus와 비슷하게 Broca's area, premotor cortex의 각각 다른 구역(sector)가 활성화되는 체영역별 패턴(somatotopic pattern)의 mirror neuron system activation을 확인하였다.

### (6) 운동 관찰 시 편측화(lateralization)

Aziz-Zadeh 등<sup>38</sup>은 우측 수부의 동작을 관찰하면서 좌측 일차운동영역에 경두개 자기자극을 가했을 때, 좌측 수부를 관찰하면서 우측 일차운동영역에 경두개 자기자극을 한 경우보다 더 큰 운동유발전위를 얻을 수 있었다고 보고하였고 Kuhtz-Buschbeck 등<sup>39</sup>도 기능적 자기공명영상을 이용한 연구에서 운동연상에 의한 대뇌활성화 시에 단순 운동에 대한 운동연상에서 좌측 혹은 우측수부와 무관하게 좌측 전 운동(premotor) 영역이 활성화되는 것을 관찰

하여 이는 오른손잡이에서의 운동연상에 있어 좌측 반구에 우세성이 있다고 하였다.

### (7) 운동 관찰 시 natural hand orientation과 biologic motion

관찰된 동작의 자연스러움과 친숙한 정도에 따라 대뇌 피질의 활성화되는 정도가 달라지는지 여부에 대한 연구도 이루어졌는데 그 결과 손동작에서 관찰할 손의 손가락이 몸에서 바깥 방향으로 향하는 익숙한 자세와 손가락의 방향이 관찰자의 몸으로 향하게 하는 덜 익숙한 자세로 나누어 대뇌피질 활성화 정도를 비교할 때 손가락의 방향이 익숙한 방향인 운동 관찰에서만 대뇌피질의 흥분도가 안정 시 보다 증가하는 것을 알 수 있고 인간의 보행처럼 biologic한 동작이 공간에서 isolated limb segments movement처럼 non-biologic한 동작에 비해 위관자고랑(superior temporal sulcus)의 활성화도가 유의하게 많이 증가한다는 것을 알 수 있다.<sup>40,41</sup>

### (8) 운동 관찰 시 관찰자의 자세에 따른 변화

2006년 Urgesi 등<sup>42</sup>은 손 운동 관찰에 있어 관찰자의 손의 자세에 의한 영향을 알아보기 위한 연구에서 관찰자가 palm up & down 자세에서 관찰하도록 하고 모델의 손 또한 up & down 자세에서 차례로 FDI ADQ의 동작을 수행하도록 하여 각각의 경우 mirror observation-execution facilitation이 근육에 특이성을 보이는지 관찰자와 모델의 손 자세의 일치도가 영향을 미치는지 알아보고자 하였다. 실험 결과 관찰자와 모델의 자세 일치도는 별다른 영향을 미치지 않으나 관찰자가 palm down 자세에서는 FDI 운동 관찰에 대한 FDI의 활성화가 관찰되지만 ADQ 운동 관찰에도 불구하고 ADQ의 활성화를 볼 수 없고, 또한 palm up 자세에서 관찰 시 ADQ 운동관찰에 따른 ADQ 활성화가 관찰되었으나, FDI 운동 관찰에도 불구하고 FDI의 활성화가 일어나지 않아 관찰해야 운동의 종류에 따라 관찰자의 적합한 자세가 있음을 알 수 있었다.

## 3) 운동 연상에 의한 Motor Learning

### (1) 스포츠와 연주에서의 운동 연상 훈련 효과 (imagery training effect)

스포츠 분야에서는 과거부터 운동 연상 혹은 정신훈련 (mental training)에 의한 신체 기능 향상에 대한 효과에 대한 많은 보고들이 있어왔다. 1943년 Vandell 등<sup>43</sup>은 basketball free throws에 대한 정신 훈련법이 실제 훈련과 비슷한 훈련 효과를 보고한 이래, 1960년 Clark<sup>44</sup>도 운동 연상이 physical practice 만큼의 효과를 나타내어 이를 대체할 수 있고 physical practice와 운동 연상을 병행하면 motor skill learning에서 월등한 효과를 볼 수 있다고 하였다.

다.

이후 Feltz와 Landers, Driskell 등<sup>45,46</sup>도 반복적인 운동 연상 특히 first person perspective에 의한 운동 연상법이 동작 훈련의 효과를 높인다고 하였고, Cumming과 Hall<sup>47</sup>은 159명의 운동 선수들을 대상으로 조사한 결과 elite athletes가 recreational athletes보다 운동 연상법을 더 선호하고 실제 스포츠 훈련에도 유용한 방법이라고 보고하였다.

이러한 운동 연상법의 훈련효과는 스포츠 영역에 외에도 연구되어지고 있는데 Pascual-Leone 등<sup>48</sup>은 5일간의 musical performance training에서 motor imagery와 운동 수행(motor execution) 모두에서 performance의 향상을 보이며 비록 motor execution 그룹이 좀더 나은 performance를 보이지만 motor imagery 그룹도 단 한번의 additional execution session 만으로 motor execution 그룹과 같은 정도의 performance 보이게 되는 것으로 보아 운동 연상이 musical performance training에도 효과가 있다고 하였다.

### (2) 운동 연상에 의한 근육 훈련 효과(muscular training effect)

운동 연상 훈련법에 의한 근력 증가 효과에 대한 연구들도 진행되었는데, Zijdwind 등<sup>49</sup>은 하지 근육에 대한 운동 연상 훈련법으로 ankle plantar flexor의 voluntary torque를 유의하게 증가시킨다고 보고하였고, Yue와 Cole<sup>50</sup>은 maximal isometric muscle contractions 그룹과 mental training 그룹으로 나누어 left (trained) digit의 mean abduction force를 비교한 결과 contraction 그룹은 30%, imagining 그룹은 22% 증가한 반면 control 그룹은 증가하지 않았다고 하였다.

Mulder 등<sup>51</sup>은 이외에도 abduct big toe without moving the other toes에 대한 운동 연상의 훈련 효과에서 운동 연상이 동작의 performance를 향상시킬 수 있지만 처음부터 전혀 실행하지 못한 군에서는 향상을 보이지 않아 전혀 새로운 동작에 대한 운동 연상의 훈련 효과는 기대할 수 없다고 하였다.

### (3) 운동 연상에 의한 cortical, cerebellar sensori-motor networks activation

Lacourse 등<sup>52</sup>은 physical practice 그룹, motor imagery 군과 no-practice군에서 각각 2-button press sequential task의 향상을 관찰한 결과 physical practice군은 동작의 향상과 함께 striatal activation이 증가하고 cerebellar activation이 감소하였으며 motor imagery군은 동작의 향상과 함께 cerebellar, pre-motor, striatal activation이 증가하는 것을 보고하였고, 이러한 운동 연상의 cortical,

cerebellar sensorimotor networks를 활성화 현상은 motor imagery가 효과적인 additional tool for rehabilitation이라는 점을 시사한다.

#### (4) 그렇다면 모든 사람에서 운동 연상이 가능한가?

가) 두정엽 손상(parietal lobe lesion): Jackson 등<sup>53</sup>의 연구와 Lotze와 Halsband<sup>54</sup>의 연구에서 뇌 손상 환자 중 parietal lesions 환자에서는 운동 연상에 장애가 있다는 보고를 한 바 있고 Sirigu 등<sup>55</sup>도 이러한 환자에서 mental isochrony 현상을 볼 수 없다고 하여 parietal lobe은 mental representation 형성에 중요한 역할을 할 것으로 생각된다.

나) 파킨슨씨 병(parkinson's disease): 1999년 Yaguez 등<sup>56</sup>은 쓰기훈련(graphomotor task learning)에서 Huntington 환자는 운동 연상으로 motor performance의 향상을 보이는 반면, Parkinson환자에서는 이러한 효과를 관찰할 수 없었다고 보고하였고, 2000년 Thobois 등<sup>57</sup>도 PET를 이용한 연구에서 Parkinson 환자의 운동연상 중 brain activation 양상은 정상인과 다르다고 하면서 이러한 현상은 운동 연상의 과정이 dopaminergic dysfunction의 영향 하에 있음을 시사하였다.

다) 편마비 환자(hemiplegic patient): Johnson (2000)<sup>58</sup>은 일반적인 편마비 환자에서 운동 연상 능력을 확인하기 위해 hand grip 운동연상 과제를 시행한 결과 정상인과 편마비 환자 간에 차이를 볼 수 없다고 보고 하였고 이러한 결과로 보아 일반적인 뇌손상으로 인한 편마비 환자에서는 운동 수행이 어려운 경우에도 운동 연상능력이 보존되어 있음을 알 수 있다.

라) 노화에 따른 변화(aging process): 노인에서 피질 척수로의 기능적 변화와 하행로(descending tract) 숫자의 감소하는 해부학적인 변화가 일어나며, 젊은 성인에 비해 집중력과 작동 기억, 그리고 운동의 시뮬레이션(simulation) 능력이 저하되어 있어 이에 대한 보상작용으로 기억과 연관된 인지동작을 시행할 때 젊은 성인에 비해 더욱 넓은 영역의 전두엽 부위 대뇌피질이나 피질 하 영역이 활성화되는 양상을 보이는 등 운동 관찰, 연상에 의한 활성화가 젊은 성인과는 차이가 있다.

노인과 젊은 성인(평균연령 63세, 25세)을 대상으로 운동의 습득을 위한 연상 능력을 비교한 Leonard 등<sup>59</sup>의 연구에서 노인의 운동 관찰 및 연상에서 운동유발전위의 활성화는 젊은 성인과 동일한 양상을 보이는 것으로 보아 노인에서 운동의 관찰과 연상에 의한 대뇌피질의 활성화 능력은 존재하지만, 젊은 성인에 비해 활성화가 비 선택적이며, 저하되어있는 것을 알 수 있다.

Mulder 등<sup>60,61</sup>도 333명의 대상자를 나이에 따라 3 group (<30 yrs; 30~64 yrs and >64 yrs)으로 나누어 vividness of movement imagery questionnaire를 이용한 운동 연상 능력을 비교한 결과 elderly군은 younger군에 비해 낮은 점수를 보였으며 이러한 차이는 주로 first person (internal) perspective에서 더욱 뚜렷하게 나타난다고 하였다.

#### 4) 운동 관찰에 의한 learning Process

humans과 nonhuman primates에서 observation과 action의 상호 연관 메커니즘에 대한 연구는 neurophysiological study, brain-imaging study, eye-tracking- studies 등에 의해 진행 되고 있으며, 연구 결과 action observation이 mapping된 형태로 motor system에 발현(internally executing)됨으로써 동작에 대한 훈련의 효과를 갖는다는 것이 입증되고 있다.

2000년 Brass 등<sup>62</sup>은 finger movement reaction time paradigm에서 관찰 중인 finger movement와 동일한 손동작 시에 initiation time이 더 빠르게 측정됨을 확인하였고, 2005년 Mattar와 Gribble<sup>63,64</sup>는 다른 사람의 clockwise force field learning process를 관찰함으로써 관찰하지 않은 사람이나 오히려 counterclockwise force field learning 관찰한 사람에 비해 performance에 있어 훨씬 좋은 결과를 보여 action observation이 motor imagery와 execution에 도움을 줄 수 있음이 밝혀졌다

## 결 론

운동 연상과 운동 관찰은 실제 운동 수행과 비슷한 neuronal network의 활성화를 가져옴으로써 뇌신경 재활 부문에서 새로운 치료 방법으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 새로운 치료 방법에 의한 치료 기전은 기존의 실제 운동 수행을 통한 neuroplasticity와 다르지 않을 것으로 생각되며 운동 연상과 운동 관찰에 따른 뇌기능이 보존된 경우 실제 운동 수행이 전혀 불가능한 neurologic deficit 환자에서도 사용 될 수 있다는 장점을 가진다. 하지만 전술한 바와 같이 노화나 파킨슨병 그리고 두정엽 손상 등 mental presentation 기능의 장애가 있는 환자에서는 이러한 방법들의 적용이 어려울 수 있고 훈련 효과도 기대하기 어렵다. 또한 이러한 운동 연상과 관찰이 재활 치료에 이용되기 위해서는 그 치료 효과를 입증할 수 있는 지속적인 연구가 필요하고 좀 더 치료 효과를 높일 수 있는 실용화 방안이 모색되어야 한다.

## 참 고 문 헌

- 1) Feltz DL, Landers DM. Informational-motivational components of a model's demonstration. *Res Q.* 1977;48:525-533
- 2) Yue G, Cole KJ. Strength increases from the motor program: comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. *J Neurophysiol.* 1992;67:1114-1123
- 3) Decety J, Grèzes J. Neural mechanisms subserving the perception of human actions. *Trends Cogn Sci.* 1999;3:172-178
- 4) Grèzes J, Costes N, Decety J. The effects of learning and intention on the neural network involved in the perception of meaningless actions. *Brain.* 1999;122:1875-1887
- 5) Hanakawa T, Immisch I, Toma K, Dimyan M, Van Gelderen P, Hallett M. Functional properties of brain areas associated with motor execution and imagery. *J Neurophysiol.* 2003;89:989-1002
- 6) Decety P, Merboldt KD, Frahm J. Is the human primary motor cortex involved in motor imagery? *Cogn Brain Res.* 2004;19:138-144
- 7) Meister IG, Krings T, Foltys H, Boroojerdi B, Muller M, Topper R, Thron A. Playing piano in the mind - an fMRI study on music imagery and performance in pianists. *Cogn Brain Res.* 2004;19:219-228
- 8) Parsons LM. Integrating cognitive psychology, neurology and neuroimaging. *Acta Psychol.* 2001;107:155-181
- 9) Meister IG, Krings T, Foltys H, Boroojerdi B, Muller M, Topper R, Thron A. Playing piano in the mind - an fMRI study on music imagery and performance in pianists. *Cogn Brain Res.* 2004;19:219-228
- 10) De Lange FP, Hagoort P, Toni I. Neural topography and content of movement representations. *J Cogn Neurosci.* 2005;17:97-112
- 11) Decety P, Merboldt KD, Frahm J. Is the human primary motor cortex involved in motor imagery? *Cogn Brain Res.* 2004;19:138-144
- 12) Spiegler A, Graitmann B, Pfurtscheller G. Phase coupling between different motor areas during tongue-movement imagery. *Neurosci Lett.* 2004;369:50-54
- 13) Porro CA, Francescato MP, Cettolo V, Diamond ME, Baraldi P, Zuiani C. Primary motor and sensory cortex activation during motor performance and motor imagery: a functional magnetic resonance imaging study. *J Neurosci.* 1996;16:7688-7698
- 14) Roth M, Decety J, Raybaudi M, Massarelli R, Delon-Martin C, Segebarth C. Possible involvement of primary motor cortex in mentally simulated movement: a functional magnetic resonance imaging study. *Neuroreport.* 1996;7:1280-1284
- 15) Gerardin E, Sirigu A, Lehericy S, Poline JB, Gaymard B, Marsault C. Partially overlapping neural networks for real and imagined hand movements. *Cereb Cortex.* 2000;10:1093-1104
- 16) Sharma N, Pomeroy VM, Baron JC. Motor imagery: a backdoor to the motor system after stroke? *Stroke.* 2006;37:1941-1952
- 17) Malouin F, Richards C, Jackson PL, Dumas F, Doyon J. Brain activation during motor imagery of locomotor related tasks: a PET study. *Hum Brain Mapp.* 2003;19:47-62
- 18) Parsons LM. Integrating cognitive psychology, neurology and neuroimaging. *Acta Psychol.* 2001;107:155-181
- 19) Fadiga L, Fogassi L, Pavesi G, Rizzolatti G. Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. *J Neurophysiol.* 1995;73:492-502
- 20) Stippich C, Ochmann H, Sartor K. Somatotopic mapping of the primary sensorimotor cortex during motor imagery and motor execution by functional magnetic resonance imaging. *Neurosci Lett.* 2002;331:50-54
- 21) Ehrsson H, Geyer S, Naito E. Imagery of voluntary movement of fingers, toes, and tongue activates corresponding bodypart specific motor representations. *J Neurophysiol.* 2003;90:3304-3316
- 22) Ruby P, Decety J. What you believe versus what you think they believe: a neuroimaging study of conceptual perspective taking. *Eur J Neurosci.* 2003;17:2475-2480
- 23) Stinear CM, Byblow WD, Steyvers M, Levin O, Swinnen SP. Kinesthetic, but not visual, motor imagery modulates corticomotor excitability. *Exper Brain Res.* 2006;168:157-164
- 24) Magill RA. Motor learning: concepts and applications. New York: McGraw Hill; 1998
- 25) Brighina F, La Bua V, Oliveri M, Piazza A, Fierro B. Magnetic stimulation study during observation of motor tasks. *J Neurol Sci.* 2000;174:122-126
- 26) Kuhtz-Buschbeck JP, Mahnkopf C, Holzknecht C, Siebner H, Ulmer S, Jansen O. Effector-independent representations of simple and complex imagined finger movements: a combined fMRI and TMS study. *Eur J Neurosci.* 2003;18:3375-3387
- 27) Fadiga L, Fogassi L, Pavesi G, Rizzolatti G. Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. *J Neurophysiol.* 1995;73:492-502
- 28) Gallese V, Fadiga L, Fogassi L, Rizzolatti G. Action recognition in the premotor cortex. *Brain.* 1996;119:593-609
- 29) Gallese V, Goldman A. Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends Cogn Sci.* 1998;12:493-501
- 30) Grezes J, Decety J. Functional anatomy of execution, mental simulation, observation and verb generation of action: a meta-analysis. *Hum Brain Mapp.* 2001;12:1-19
- 31) Watkins KE, Strafella AE, Paus T. Seeing and hearing speech excites the motor system involved in speech production. *Neuropsychologia.* 2003;41:989-994
- 32) Gangitano M, Mottaghy FM, Pascual-Leone A. Phase-specific modulation of cortical motor output during movement observation. *Neuroreport.* 2001;12:1489-1492
- 33) Buccino G, Lui F, Canessa N, Patteri I, Lagravinese G, Benuzzi F, Porro CA, Rizzolatti G. Neural circuits involved in the recognition of actions performed by nonconspecifics: an fMRI study. *J Cogn Neurosci.* 2004;16:114-126
- 34) Di Pellegrino G, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V, Rizzolatti G. Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental Brain Res.* 1992;91:176-180

- 35) Gallese V, Fadiga L, Fogassi L, Rizzolatti G. Action recognition in the premotor cortex. *Brain*. 1996;119:593-609
- 36) Tai YF, Scherfler C, Brooks DJ, Sawamoto N, Castiello U. The human motor premotor cortex is "mirror" only for biological actions. *Curr Biol*. 2004;14:117-120
- 37) Buccino G, Binkofski F, Fink GR, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V, Seitz RJ, Zilles K, Rizzolatti G, Freund HJ. Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *Eur J Neurosci*. 2001; 13:400-404
- 38) Aziz-Zadeh L, Maeda F, Zaidel E, Mazziotta J, Iacoboni M. Lateralization in motor facilitation during action observation: a TMS study. *Exp Brain Res*. 2002;144:127-131
- 39) Kuhtz-Buschbeck JP, Mahnkopf C, Holzknecht C, Siebner H, Ulmer S, Jansen O. Effector-independent representations of simple and complex imagined finger movements: a combined MRI and TMS study. *Eur J Neurosci*. 2003;18:3375-3387
- 40) Maeda F, Chang VY, Mazziotta J, Iacoboni M. Experience-dependent modulation of motor corticospinal excitability during action observation. *Exp Brain Res*. 2001;140:241-244
- 41) Pelphrey KA, Mitchell TV, McKeown MJ, Goldstein J, Allison T, McCarthy G. Brain activity evoked by the perception of human walking: controlling for meaningful coherent motion. *J Neurosci*. 2003;23:6819-6825
- 42) Urgesi C, Candidi M, Fabbro F, Romani M, Aglioti SM. Motor facilitation during action observation: topographic mapping of the target muscle and influence of the onlooker's posture. *Eur J Neurosci*. 2006;23:2522-2530
- 43) Vandell RA, Davis R, Clugston HA. The function of mental practice in the acquisition of motor skills. *J Gen Psychol*. 1943;29:243-250
- 44) Clark LV. Effect of mental practice on the development of a certain motor skill. *Res Quart*. 1960;31:560-569
- 45) Driskell JE, Copper C, Moran A. Does mental practice enhance performance? *J Sport Psychol*. 1994;79:481-492
- 46) Feltz DL, Landers DM. The effects of mental practice on motor skill learning and performance: a meta-analysis. *J Sport Psychol*. 1983;5:25-57
- 47) Cumming J, Hall C. Deliberate imagery practice: the development of imagery skills in competitive athletes. *J Sports Sci*. 2000;20:137-145
- 48) Pascual-Leone A, Dang N, Cohen LG, Brasil-Neto J, Cammarota A, Hallett M. Modulation of motor response evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills. *J Neurophysiol*. 1995;74:1034-1045
- 49) Zijdwind I, Toering ST, Bessem B, Van der Laan O, Diercks RL. Effects of imagery motor training on torque production of ankle plantar flexor muscles. *Muscle Nerve*. 2003;28: 168-173
- 50) Yue G, Cole KJ. Strength increases from the motor program: comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. *J Neurophysiol*. 1992;67:1114-1123
- 51) Mulder Th, Zijlstra S, Zijlstra W, Hochstenbach J. The role of motor imagery in learning a totally novel movement. *Exp Brain Res*. 2004;154:211-217
- 52) Lacourse MG, Turner JA, Randolph-Orr E, Schandler SL, Cohen MJ. Cerebral and cerebellar sensorimotor plasticity following motor imagery-based mental practice of a sequential movement. *J Rehabil Res Devel*. 2004;41:505-524
- 53) Jackson PL, LaFleur MF, Malouin F, Richards C. Potential role of mental practice using motor imagery in neurologic rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil*. 2001;82:1133-1141
- 54) Lotze M, Halsband U. Motor imagery. *J Physiol*. 2006;99: 386-395
- 55) Sirigu A, Duhamel JR, Cohen L, Pillon B, Dubois B, Agid Y. The mental representation of hand movements after parietal cortex damage. *Science*. 1996;273:1564-1568
- 56) Yaguez L, Canavan AG, Lange HW, Homberg V. Motor learning by imagery is differently affected in Parkinson's and Huntington's diseases. *Behav Brain Res*. 1999;102:115-127
- 57) Thobois S, Dominey PF, Decety J, Pollak P, Gregoire MC, Le Bars D, Broussolle E. Motor imagery in normal subjects and in asymmetrical Parkinson's disease. *Neurology*. 2000; 55:996-1002
- 58) Johnson SH. Imagining the impossible: intact motor representations in hemiplegics. *Neuroreport*. 2000;11:729-732
- 59) Leonard G, Tremblay F. Corticomotor facilitation associated with observation, imagery and imitation of hand actions: a comparative study in young and old adults. *Exp Brain Res*. 2007;177:167-175
- 60) Mulder TH, Hochstenbach J, Van Heuvelen MJG, Den Otter AR. Motor imagery: the relationship between age and imagery capacity. *Hum Mov Sci*. 2007;26:203-211
- 61) Urgesi C, Candidi M, Fabbro F, Romani M, Aglioti SM. Motor facilitation during action observation: topographic mapping of the target muscle and influence of the onlooker's posture. *Eur J Neurosci*. 2006;23:2522-2530
- 62) Brass M, Bekkering H, Wohlschlaeger A, Prinz W. Compatibility between observed and executed finger movements: comparing symbolic, spatial and imitative cues. *Brain Cogn*. 2000;44:124-143
- 63) Mattar AG, Gribble PL. Motor learning by observation. *Neuron*. 2005;46:153-160
- 64) Colombo R, Pisano F, Micera S, Mazzone A, Delconte C, Carrozza MC. Assessing mechanisms of recovery during robot-aided neurorehabilitation of the upper limb. *Neurorehabil Neural Repair*. 2007;21:501-555