

Review Article

Open Access

## 뇌졸중 재활에 있어서 운동심상의 치료적 접근

김식현<sup>†</sup>

선린대학 물리치료과

### Therapeutic Approach of Motor Imagery in Stroke Rehabilitation

Sik-Hyun Kim<sup>†</sup>

*Department of Physical Therapy, Sunlin University*

Received: May 15, 2015 / Revised: June 15, 2015 / Accepted: June 16, 2015

© 2015 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:** The purpose of this study was to propose a new therapy algorithm that combines motor imagery and physiotherapy as a physiotherapeutic clinical intervention technique that can stimulate the recovery of damaged physical function for patients with stroke.

**Methods:** A variety of scientific research results related to motor imagery were reviewed and analyzed to investigate their applicability to physiotherapy in clinics.

**Results:** As a new therapy algorithm for the therapeutic approach of motor imagery in stroke rehabilitation, a therapy algorithm that combines motor imagery with physiotherapy is proposed, which consists of three stages or steps: STEP 1 motor imagery familiarization, STEP 2 explicit learning stage, and STEP 3 implicit learning.

**Conclusion:** The new therapy algorithm proposed in this study is expected to be a very useful clinical therapeutic approach for stimulating the recovery of damaged physical function in patients with stroke. It is believed that it will be necessary to confirm and standardize the effects of the therapeutic algorithm proposed in this study in the future by conducting diverse clinical studies.

**Key Words:** Motor imagery, Physical therapy, Stroke rehabilitation

<sup>†</sup>Corresponding Author : Sik-Hyun Kim ([spritup@sunlin.ac.kr](mailto:spritup@sunlin.ac.kr))

## I. 서론

뇌졸중 후 상실된 운동기능의 회복은 물리치료 임상에서 가장 핵심적인 치료 중재전략이며 목적이다. 운동기능 상실의 회복은 손상 뇌조직과 상실된 운동기능 회복에 관여하는 주변 뇌 영역의 신경학적 변화 즉, 신경가소성을 통한 구조적 형태학적 변화가 동반되어야 한다.

뇌졸중 후 잃어버린 기능의 회복과 새로운 기능의 습득은 감각·운동영역의 변화를 포함하는 뇌 기능의 재구성이 동반되어야 한다. 뇌졸중 후 손상 뇌 영역의 기능저하로 정상 뇌 조직에서 작동하는 정상적인 뇌 반구간 억제(interhemispheric inhibition)기능이 상실된다(Butefisch et al, 2003). 신경생리학적으로 정상적인 뇌 반구간의 균형적인 억제 기능의 변화로 인해 손상 반대쪽 뇌 영역의 흥분성이 증가되고, 손상 반대쪽 뇌 영역의 흥분성 증가는 결과적으로 손상된 뇌 영역으로의 뇌반구간 억제가 강화되고 그로 인해 손상 뇌 영역의 기능회복이 저하되는 부정적인 결과가 발생하게 된다. 이러한 현상은 임상적으로 뇌졸중 환자가 건측(less affected side)으로 보상적 운동패턴을 사용할 경우 발생하는 비정상적 가소성(maladaptive plasticity)을 설명하는 근거가 된다. 뇌졸중 후 기능의 상실로 인해 환측(affected side)의 사용이 어렵게 되면 대부분의 환자는 건측을 사용한 보상적 운동패턴을 사용하게 되고, 오랜 기간 동안 이러한 패턴을 지속하게 되면 환자의 뇌는 “학습된 무사용”(learned non-use)을 학습하게 된다. 이러한 학습된 무사용을 학습한 환자는 계속해서 건측의 보상적 패턴을 사용하게 되어 손상반대쪽 뇌 영역의 활성이 증가되고, 손상 뇌 영역으로의 뇌반구간 억제가 강화되어 더욱 더 환측의 사용을 어렵게 하는 결과가 초래된다.

뇌졸중 후 환자의 재활은 다학문적인 통합적 목적의 치료접근을 통해 극대화해야 한다. 특히 운동기능 소실로 인한 신체기능의 결손을 나타내는 뇌졸중 환자의 치료적 전략은 기능손상을 보상하기 위한 운동 학습과정이 반드시 필요하다. 운동학습은 예전의 신

체기능 및 기술을 재획득하는 과정을 포함하여 집중적인 임상치료 중재를 통한 새로운 기능의 학습을 포함하는 과정을 거치게 된다. 운동기능의 회복과 운동 학습은 임상적으로 잘 훈련되고 많은 경험을 가진 물리치료사에 의해 적용될 경우 매우 우수한 치료적 효과를 얻을 수 있으며, 자극-반응-운동출력의 정교하게 조절된 방식의 치료적 접근과 환자관리는 환자 기능적 능력의 개선을 위한 핵심인자가 된다. 그러나 임상 환경학적 측면으로 접근할 경우 환자치료 시간의 제약, 치료 환경학적 제한, 안전성, 치료비용 등 다양한 여러 제약조건이 환자치료의 질적 관리를 어렵게 하는 요소가 된다. 환자에게 안전하고 효과적으로 또 비교적 쉽게 적용할 수 있는 물리치료적 치료 중재방법은 무엇이 있을까? 정해진 치료환자 수, 낮은 물리치료 의료수가(醫療酬價), 이러한 여러 제한점을 극복하기 위한 방법은 있을까?

이러한 임상 제약사항을 극복하기 위한 하나의 좋은 방법으로 “운동심상+치료기기(TMS-transcranial magnetic stimulation, BCI-brain computer interface)+물리치료”의 치료 알고리즘을 새롭게 임상에 적용하여 환자치료 효과를 극대화 하고 물리치료 수가를 현실화 하는 과정이 필요할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구는 운동심상 관련 최근까지의 연구결과를 고찰하고, 그 연구결과들을 통해 새로운 임상 물리치료 치료 알고리즘을 제시하여 환자치료의 시공간·환경적 제한을 극복하고 치료적 효과를 개선할 수 있는 표준화 치료 틀을 제시하고자 한다.

## II. 운동심상과 뇌 활성화

일차운동피질(Primary motor cortex, MI). 뇌 영역 중 상상 활동과의 관련성을 연구한 결과 운동실행(motor execution)과 밀접한 관련이 있는 영역보다는 운동계획(motor plan)에 관여하는 뇌 영역이 더 영향을 받는다는 것을 알게 되었다(Jeanerod, 1995). 특히 일차운동피질은 실제로 운동을 실행할 때보다는 작은 강도이긴

하지만 상상 활동 동안 명확히 활성화되는 것으로 확인되었다(Decety, 1996). 운동심상적용에 따른 일차운동피질의 동원에 관한 여러 연구들이 진행되어 논란의 여지가 있었으나, 통제된 연구기법을 적용한 fMRI 연구 등을 종합할 경우 실제 운동을 실행할 때 보다는 약한 강도로 반응을 나타내긴 하지만 운동심상 동안 일차운동피질 영역이 활성화되는 것은 명확하다(Munzert et al, 2009). 일차운동피질을 생리학적으로 구분할 경우 앞쪽 영역(anterior M1)은 실제 운동 실행과 관련된 역할을 담당하고, 뒤쪽 영역(posterior M1)은 실제 운동실행보다 인지가 포함된 과제에 기능하는 것으로 확인되었다(Sanes & Donoghue, 2000). 특히 척수손상환자의 경우에도 운동심상시 일차운동피질영역이 활성화되는 것으로 확인되었다(Cramer et al, 2005). 척수손상환자에게서도 운동심상으로 뇌 피질영역이 활성화된다는 것은 무엇을 의미하는 것인가? 이들 연구자의 연구를 통해 유추할 경우, 직접적인 감각자극 입력을 적용하지 않더라도 뇌 피질의 활성을 유도할 수 있다는 매우 의미 있는 연구결과로 물리치료사와 물리치료 임상에서의 치료중재에 있어 많은 부분을 고려할 수 있는 과학적 사실을 제시한다고 할 수 있다. 일차운동피질은 외현운동학습(explicit motor learning) 적용되는 학습과정의 특이 관련성에 따라 활성이 증가한다(Van Mier et al, 1999). 특히 속도의존적인 학습과정에 직접적으로 관여한다. 이들 일차운동영역의 속도의존적 학습과정에서의 기능적 역할은 임상중재와 관련하여 치료적응과 운동기술 그리고 학습간의 관련요인 중 “속도”라는 중요 핵심인자의 적용에 대해서 우리 물리치료사들에게 깊은 사고의 기회를 제공한다.

**보완운동영역(Supplementary Motor Area, SMA).** 기능적으로 보완운동영역은 전두엽의 내측면에 위치하며 운동 활동과 관련하여 운동계획, 운동 프로그래밍 등에 관여한다. 특히 이들 영역은 운동심상시 매우 활성화적으로 반응하며(Munzert et al, 2009), 운동심상동안 운동실행을 방지하기 위해 일차운동피질의 활성을

억제한다(Kasess et al, 2008). 또한 이들 영역은 적절한 운동단계 및 운동시기와 관련된 운동심상 초기 운동 준비와 관련된 운동계획에 관여하며, 전-보완운동영역(pre-SMA)이 직접적으로 관여한다(Malouin et al, 2003).

보완운동영역은 신경섬유의 해부학적 구조와 피질·피질하 구조들의 연결성에 따라 전-보완운동영역(pre-SMA)과 고유-보완운동영역(proper-SMA)으로 구분되며, 운동학습 초기와 밀접한 관련이 있는 외현학습시에는 전-보완운동 영역이 관여하고, 훈련과정의 증가로 인한 기술적인 운동기능의 학습과정인 암묵학습에는 고유-보완운동영역이 관여한다(Grafton et al, 1994; Hazeltine et al, 1997).

**전운동피질(Premotor Cortex, PMC).** 전운동피질은 정교한 운동을 수행할 수 있도록 기능하는 영역으로, 특히 감각입력에 의한 수의적 운동기능을 담당한다. 앞전운동피질(ventral PMC)은 운동계획시 중요한 역할을 담당하나 운동심상동안 보다 강하게 반응하는 것으로 확인되었다(Gerardin et al., 2000). 또한 운동실행과 운동심상 활동 동안 신경활성 영역이 서로 겹쳐지는 것으로 확인되었다(Munzert et al, 2009), 외측전운동피질(lateral PMC)은 양측성으로 운동학습 초기단계에 기능한다(Inoue et al, 1997). 이러한 연구결과로 운동학습 초기 강하게 활동하는 이들 전운동피질의 운동계획과 실행에 중대한 기능으로 초기 학습과정에 관여하는 중요한 기능성을 확인할 수 있다. 이들 전운동피질 중 운동학습 초기에는 오른쪽 전운동피질이 동원되고(Deiber et al, 1997), 운동학습 후기단계의 손기능 훈련 동안에는 왼쪽 전운동피질의 활동이 증가된다(Van Mier et al, 1999). 특히 이들 영역은 최근의 연구들에서 거울신경(mirror neuron)이 존재하는 것으로 확인되었다(Rizzolatti et al, 2002; Buccino et al, 2004).

**피질하영역(Subcortical Areas).** 기저핵과 소뇌는 운동학습과 운동준비 등의 신체활동과 관련된 생리학적

기능에 강력한 역할을 담당한다. 이들 영역 또한 운동 심상시에도 활성화되는 것으로 확인되었다(Gerardin et al, 2000; Munzert et al, 2009). 특히 운동학습과 밀접한 관련이 있는 것으로 확인된 소뇌는 운동심상동안 운동명령을 억제하는 중요한 역할을 담당한다(Lotze and Halsband, 2006). 소뇌는 운동학습 초기단계에 강하게 기능하며 학습과정 중 피드백 프로세싱을 통한 운동기능 조절과정이 필수적으로 요구된다(Van Mier et al, 1999; Jenkins et al, 1994). 임상적으로 피드백 프로세싱은 다양한 고유수용성신경근 수용체와 시각 정보 등을 통해 운동기능의 조절기능을 잘 통제하고 반복적으로 사용하여야 완성적인 운동기능을 학습할 수 있다. 기저핵은 운동패턴발생기(motor pattern generator)로 운동기능상 고도로 통합된 운동기능을 조절하는 기관이다. 이들 기저핵은 암묵학습의 기술적이고 자동적인 운동기능 활성화에 밀접하게 관여한다(Hazeltine et al, 1997). 특히 오른쪽 대뇌반구 내에서 암묵학습 경로는 피질-선조체 신경경로(cortico-striatal pathway)의 활성화에 의한다(Rauch et al, 1995).

**두정엽(Parietal region).** 두정엽은 체성감각영역, 체성감각연합영역, 삼차연합영역으로 구성되며, 체성감각과 시청각 감각을 통해 입력된 정보를 통합하여 공간적 위치 또는 자세감각 등의 위치감각을 인식하여 운동을 기획하는 영역이다. 두정엽 또한 운동심상동안 활성화되며(Gerardin et al, 2000; Munzert et al, 2009), 왼쪽 두정엽이 이미지형성 등의 정신적 상상 활동에 밀접하게 관여한다. 따라서 임상적으로 오른쪽 편마비 환자군에서 이러한 상상 활동 기능의 결여가 나타나므로 이들 환자군에게 운동심상을 적용하기 위해서는 보다 정확한 환자평가 과정이 필요하다. Guillot 등(2009)의 연구에 의하면 손의 운동과 관련된 시각심상(visual imagery)과 운동감각심상(kinesthetic imagery)동안의 신경동원과 활성화영역이 특이적으로 다른 것을 발표하였다. 시각심상은 주로 쇄기앞소엽(precuneus)과 후두엽을 포함하는 시각경로에서 주로 활성화되고, 운동감각심상(KI)은 주로 운동관련 영역

과 하두정엽 영역에서 활성화되는 것을 확인하였다. 이들 연구는 임상에서 적용 가능한 심상 종류에 따라 동원되는 뇌 활성화영역도 다르게 반응할 수 있다는 것을 확인할 수 있는 결과로 심상 특이적인 뇌 활성화영역의 반응 특이점을 확인할 수 있다.

특히, 심상의 관점에 따른 흥미로운 연구에서(Ruby & Decey, 2001) 하두정엽과 체성감각피질의 동원활성은 1인칭 관점의 심상동안 더 활발하게 활성화되고, 3인칭 관점의 심상동안에는 쇄기앞소엽에서 활성화되는 것을 확인하였다. 이는 1인칭 관점의 운동심상의 반응 특이성을 설명하는 결과로 의미 있으며, 물리치료 임상에서의 적용에 대한 과학적 의미를 제공한다. 고유수용성신경근의 축진을 통한 환자의 기능회복을 도와주는 PNF 치료 접근은 고유수용성 자극 중 촉각 자극, 심부감각 자극, 위치감각 자극, 자세감각 자극 및 시각자극, 청각자극 등의 신체 모든 감각자극을 동원하는 것을 원칙으로 적용하는 치료법이다. 1인칭 관점의 심상이 감각운동 신경계의 강력한 연합활동을 도울 수 있다는 것을 유추할 수 있는 이러한 연구결과는 치료과정 중 환자의 주의집중과 각성을 도와 집중적인 감각자극입력-운동출력을 유도하는 PNF 치료의 치료 효과성을 대변하는 근거로 충분하다고 할 수 있다. 운동학습 초기단계에는 오른쪽 두정엽 영역의 활성이 증가하고, 운동학습 완성단계에는 왼쪽 후두정엽 부위가 주로 활성화 된다(Deiber et al, 1997; Sakai et al, 1998). 운동학습 초기 공간적 개념과 신체정보의 시공간적 개념 학습의 전이 과정과 운동학습 완성단계에서 신체와 관련하여 획득된 기술 활동 과정에 관여한다.

**전전두피질(Prefrontal Cortex).** 전전두엽은 외현운동 학습 초기에 기능한다. 특히 운동을 선택하고 결정할 때 강하게 반응하므로(Deiber et al, 1997), 임상적으로 초기 운동학습 단계에 시각과 운동명령을 적절하게 조절된 방식으로 적용하며 환자의 주의집중을 확보하기 위해 노력해야만 한다. 따라서 환자인지기능 평가를 통해 환자의 참여 동기와 의지를 확인하여야 하며,

운동심상 적용기간동안 지속적인 동기부여를 통해 주의집중 반응을 체크하여야 한다.

운동학습과정 초기에 운동은 정교성이 떨어지고, 학습을 강화하기 위해 감각입력 피드백 등에 높은 의존성을 가진다. 인지심리학적으로 높은 주의집중이 요구되는 초기 운동학습기간 동안에는 목적인 학습을 완성하기 위해 뚜렷한 외현기억(explicit memory)을 저장할 수 있는 기회를 제공하여야 한다. 학습과정이 진행됨에 따라 학습초기 피드백 프로세싱의 중요성은 감소되고 암묵기억(implicit memory)강화를 통한 자동적 학습의 과정으로 전환된다. 운동학습은 외현학습(explicit learning)과 암묵학습(implicit learning)의 과정으로 분류하고, 운동학습 초기 외현학습과정으로 시작하여 이후 학습과정을 거치며 암묵학습과정, 즉 자동적 조절 가능한 과정으로 진행한다. 운동학습은 1) 초기단계, 2) 중간단계, 3) 완성단계의 과정을 거친다 (Halsband & Lange, 2006).

### III. 운동심상과 임상 관련성

뇌졸중으로 심각한 손상을 입은 환자의 경우 손상동측 피질의 현저한 활동 결여로 인해 경뇌량 억제(transcallosal inhibition) 현상이 감소되고, 결과적으로 손상 반대측 대뇌반구 운동피질쪽에서의 뇌반구간 억제가 감소되어 손상 반대측 운동피질이 과도하게 흥분하게 된다(Liepert et al, 2000). 불행하게도, 이러한 비정상적 신경활성은 역으로 손상 반대측 대뇌반구에서 손상동측 대뇌반구쪽으로 비정상적으로 강한 뇌반구간 억제를 유발케 하여(Calautti et al, 2007) 뇌졸중 회복기의 기능적 회복을 저해하고, 비정상적 보상운동패턴을 강화시키는 결과를 초래하게 될 것이다. 위의 연구결과를 통해 물리치료 임상에서의 효과적인 치료 중재와 적용방법을 추론해 볼 수 있다. 많은 대다수 뇌졸중 환자들은 환측의 기능소실을 보상하기 위해 건측을 과도하게 사용하게 된다. 과도한 건측의 사용으로 환측 사지의 사용불가를 자연적으로 학습하

게 되어 “학습된 무사용”으로 비정상적 뇌조직화가 발생한다. 특히 “학습된 무사용”으로 인한 과도한 건측 사지의 사용은 활성화된 손상반대측 대뇌반구에서 손상동측 대뇌반구로 뇌반구간 억제를 더욱 강화하게 됨으로써 비정상적 악순환의 고리를 더욱 강화시키는 결과를 초래한다. 그렇다면 이들 환자의 치료적 접근은 어떤 방식으로 적용하여야 할까? 이때 운동심상의 적용은 환자에게 어떤 영향을 미칠까? 제한적인 치료시간을 극복하고 환자에게 계속해서 효과적인 치료효과를 도출할 수 있는 방법은 무엇일까? 뇌졸중 후 운동기능 회복을 위한 새로운 접근방법으로 운동심상의 임상적 적용을 적극 고려해 볼 수 있다(Vries & Mulder, 2007).

운동심상은 실질적인 운동 출력없이 정신기능 수준에서 내적 재활성을 유도하여 운동행동을 묘사하는 역동적 상태를 의미하며, 임상 치료적으로 뇌졸중 환자의 기능회복을 위한 치료중재 목적으로 생각할 때 운동신경계로 들어가는 “비밀의 문”이다(Sharma et al, 2006). 또한 운동심상은 신체활동의 실제적 실행없이 신체의 활동 움직임을 연상하고 운동을 묘사하는 것을 의미한다. 운동묘사(movement representation)는 두 개의 관점으로 분류할 수 있다. 1) 3인칭 관점(third-person perspective) 또는 외적심상(external imagery), 2) 1인칭 관점(first-person perspective) 또는 내적심상(internal imagery)으로 분류한다. 외적심상은 제 3자의 관점에서 영상이나 화면을 보면서 외부의 관찰자 시점으로 상상하는 것을 말하며, 내적심상은 1인칭 관점 즉 본인의 관점으로 동작 수행을 상상하는 것이다. 따라서 내적심상은 수행자 자신의 관점에서 상상이 이루어짐으로 동작을 수행할 때의 느낌인 -손의 느낌, 발의 느낌, 촉감, 운동감, 길거리의 느낌- 등의 감각을 생생하게 느낄 수 있다. 특히 실제 생활에서의 경험을 직접적으로 느끼며 상상하는 것을 의미한다(Glisky et al. 1996). 외적심상과 내적심상의 사용은 과제의 형태와 학습단계에 따라 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Fery, 2003). 외적심상인 시각심상은 어떤 강조된 형태의 과제 수행에 더욱 적합하고, 내적심상인 운동감

각심상(kinesthetic imagery)은 손사용에 있어서 양손의 협응 등을 강조하는 그런 과제에 더욱 적합하다. 특히 손사용과 관련하여 정확한 수행력의 개선을 위한 적용 방법으로는 운동감각심상이 보다 유효한 것으로 확인되었다(Kim and Chung, 1998). 이러한 인칭 관점에 따른 행동학적, 신경생리학적 특성을 연구한 결과 1인칭 관점의 운동심상시 직접적인 운동실행동안 확인된 뇌 활성영역과 많은 부분 일치하는 것으로 확인되었다(Fourkas et al, 2006). 이러한 결과는 직접적 운동실행과 유사한 운동감각(kinesthetic sense)을 느끼게 하는 심상의 적용과 고유수용성신경근 축진을 통한 운동기능의 회복을 유도하는 물리치료 치료접근의 과학적 근거를 제공하는 매우 의미 있는 연구결과로 생각되며, 환자의 주의집중을 요구하는 치료적 중재의 중요성과 시각자극, 운동감각 자극의 인식을 유도하는 PNF의 치료 적용과의 과학적 근거를 유추할 수 있는 의미 있는 연구 결과이다.

**운동심상과 동작관찰의 상호 관련성.** 긴꼬리원숭이 연구를 통해 거울신경계가 확인된 이후 거울신경과 운동신경계의 인지기능적 접근에 대한 임상적 접근이 새롭게 대두되었다(Rizzolatti and Sinigaglia, 2010). 특히 신경활영법 연구를 통해 복배측 전운동피질(ventral · dorsal premotor cortex)이 동작관찰(action observation) 동안 활성화되고 이때 후두정엽과 체성감각피질이 함께 활성화되고 이들 영역은 “AO-network” 영역으로 명명되었다(Caspers, et al, 2010; Keysers et al. 2010). “The Simulation Hypothesis”란 상상운동과 실제운동 사이의 명확한 유사성이 있다는 것을 명명한 가설이다(Jeanerod, 2001). 이는 1) 행동학적 영역과 2) 신경학적 영역의 유사성을 통해 설명 가능하다. 행동학적 영역의 유사성은 상상운동을 완수할 때까지 걸리는 시간은 실제 그 운동을 실행할 때 필요한 시간과 유사한 것을 통해 주장하는 이론이다. 이는 심리시간분석법(mental chronometry)의 자극을 제시한 순간부터 반응할 때까지의 시간을 측정하여 정보처리 과정을 추론하는 것을 따른다. 신경학적 영역의 유사성은 뇌

피질의 운동심상 영역과 실제 운동실행 뇌 영역이 일치한다는 것을 통해 주장하는 것이다. 운동심상, 동작관찰, 운동실행의 과정은 거울신경계의 동원과 밀접한 관련이 있다(Rizzolatti, 2005). 일상생활동안 우리들은 계속적으로 온라인 방식의 운동실행과 오프라인 방식의 운동심상+동작관찰 모두 효과적으로 사용하며 활동하고 있다. 동작관찰은 운동학습과 관련된 인지 과정의 하나로 운동기억(kinesthetic memory)을 형성하고, 뇌 운동영역 중 일차운동피질을 흥분시키는 것으로 확인되었다(Maeda et al, 2002). 임상적으로 운동심상과 동작관찰기법을 결합하여 적용하게 되면, 운동심상만의 적용 때보다 치료효과를 극대화할 수 있고, 특히 연구자간 논쟁이 있는 운동심상과 일차운동영역의 신경활성의 유무와 관련된 문제점을 보완할 수 있는 효과적인 임상적 접근법으로 사료된다. Wright 등(2014)의 운동심상과 동작관찰이 피질척수 흥분성(corticospinal excitability)에 미치는 영향을 연구한 결과, 운동심상만 적용한 군 또는 동작관찰만 적용한 군보다 운동심상과 동작관찰을 결합하여 적용한 실험군에서 운동유발전위(motor evoked potential) 피질척수 흥분성이 더 증가하는 것을 확인하였다. 특히 수동적 관찰(passive observation)군과 비교할 경우 더욱 큰 운동유발전위가 발생하는 것을 확인하였다. Kim 등(2014)의 PNF 댄스 동작관찰시 뇌파 변화를 측정한 연구에서 PNF 댄스 동작관찰 동안 뇌 중심 C3, C4 영역 모두에서 절대 뮤 리듬 값의 변화와 뮤 억제 현상을 확인하였다(Fig. 1). 이들의 연구결과는 직접 PNF 기법을 응용한 댄스 동작 또한 좋은 동작관찰 치료적 도구로 사용할 수 있음을 제시하는 흥미롭고 과학적인 연구로서 매우 의미 있다.

모든 환자는 치료과정 중 계속적으로 치료활동에 집중하고 능동적으로 참여하여야 한다. 치료과정에서의 집중은 능동적 과정의 뇌 강화(engram)를 통해 뇌의 재조직화를 촉진하여 환자의 기능회복을 보다 효과적으로 개선할 수 있는 강력한 도구가 된다. 위에서 언급한 Wright 등(2014)의 연구결과에서 볼 수 있듯이 수동적 관찰만 적용하기보다 능동적 참여가 포함된 운동

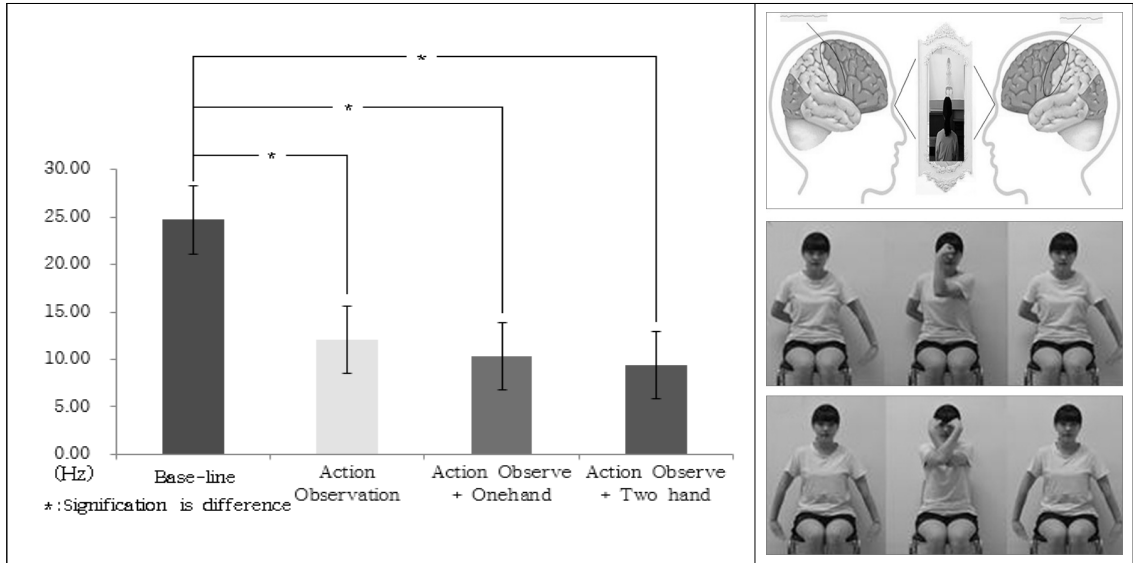


Fig. 1. The difference of Mu rhythm between action observation and PNF dance execution. Bar represent the mean absolute power of Mu frequency(8-13Hz). \* $P < 0.05$ . Adapted from PNF dance and mirror neurons: Comparative analysis of electroencephalographic difference between action observation and motor performance, Kim JW et al, Journal of Sunlin College Physical Therapy, 2014:1~12

심상+동작관찰시 보다 효과적인 신경흥분성에 영향을 준다는 사실은 환자 임상 치료중재시 집중력과 운동학습의 밀접한 상호 관련성을 유추할 수 있는 매우 유효한 근거자료임은 확실하다. 뇌졸중 환자의 재활에 있어서 어떤 한 치료중재 기법만 가장 우수하다고 주장할 수 없다. 다만 명확한 환자평가를 수반한 과학적이고 다학문적인 임상추론 결과를 통해 환자 맞춤형의 융합형 치료중재를 적용하는 것이 가장 효과적인 치료결과를 도출할 수 있을 것이다. 생리학적으로 운동심상과 관련된 뇌 피질영역은 운동과제를 실제 실행할 때 동원되는 뇌 영역과 많은 부분 겹쳐지는 것으로 확인되었고, 특히 전운동피질, 보완운동영역, 상·하두정엽, 체성감각피질 등 거울신경계(mirror neuron system)의 전두두정엽(frontoparietal) 신경회로 영역과 많은 부분 일치한다(Rizzolatti, 2005). 이러한 전두두정엽 신경회로는 활동을 관찰하고, 상상하고, 실행할 때 활성화되는 영역이며 운동기능 운동학습에 직접적으로 관여하는 영역이다. 운동심상은 거울신경계의 동원과 밀접한 관련이 있을 것으로 판단되는 이

유가 바로 이것이다. 또한 이러한 근거를 바탕으로 임상적으로 운동심상과 동작관찰을 결합하여 적용할 경우 보다 효과적인 뇌 활성을 도와 운동기능의 회복을 도울 수 있을 것으로 판단되는 과학적 근거를 제시한다.

**운동심상 적용을 위한 임상평가.** 운동심상은 신체의 활동 움직임을 연상하여 운동 활동을 재현하는 정신적 과정이므로 인지기능과 언어 및 대화기능이 반드시 일정수준 이상으로 좋아야 한다. 운동심상 적용을 위한 환자평가 중 구두 교육과정과 자기 스스로의 표현을 할 수 없는 환자는 우선 제외한다(Jackson et al. 2001). 운동심상 적용을 위한 평가과정은 일반적으로 다음과 같다. **1) 인지기능검사.** 가장 일반적으로 사용되는 인지기능 검사방법은 MMSE(Modified Mini-Mental State Exam)로 우리 실정에 맞는 한국형 MMSE도 개발되어 있고 운동심상 적용 가능한 점수는 24/30 이상을 요구한다(Dunsky et al, 2008). **2) 단기억력 검사.** 정상 작업기억(working memory) 검사인 시공간

(visuospatial), 구두(verbal), 운동감(kinesthetic) 등으로 구분된 각 작업기억 검사를 실시한다(Malouin et al, 2004). 다음단계로 3) **운동심상기능을 평가한다.** 운동심상 기능을 평가하는 가장 일반적인 검사도구는 TDMI(Time Dependent Motor Imagery)(Malouin et al, 2008)와 KVIQ(Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire)(Malouin et al, 2007)가 있다. TDMI 검사는 상상한 운동의 수를 기록하는 방법으로 3회 측정 동안(15, 25, 45초) 상상한 운동의 수를 기록하고, 검사 단계에 따라 상상한 운동의 수가 증가할 경우 운동심상 적용에 참여할 수 있다. KVIQ 검사는 1인칭 관점에서 운동심상 활성도를 평가한다. 세부적으로 시각평가 척도(visual subscale)와 감각평가 척도(kinesthetic subscale)로 구성되며, 각 평가 척도당 10개의 아이템으로 총 20개의 척도를 시각의 명료성과 각 신체부위 몸짓 재현능력을 검사하며 결과 척도는 주로 5점 척도를 사용한다. 뇌졸중 후 심각한 운동결손이 있는 환자에게도 운동재현 능력은 존재하는 것으로 확인되었다(Johnson et al, 2002). 운동재현 능력은 중추신경계 손상 이후 운동 활동과는 관련이 없다는 것을 확인할 수 있는 본 연구결과는 임상적으로 운동심상의 적극적인 적용을 제한할 수 있는 의미 있는 연구결과로 사료된다. 그렇지만 모든 환자에게 운동심상을 적용할 수 있는 것은 아니다. 명확한 환자 평가과정을 통해 운동심상의 적용을 올바르게 처방하고 적용하여야 한다. 뇌졸중 후 운동심상과 운동재현이 어려운 환자는 상두정엽 손상환자(Sirigu et al, 1996)와 전두엽 손상환자(Johnson, 2000)의 경우이다.

**운동심상-뇌영상 연구.** 뇌영상 연구 결과 상상운동(imagined movement)동안 실제 운동을 실행할 때 활성화적으로 활동하는 영역으로 알려진 뇌 영역인 전보완 운동영역(pre-supplementary motor area), 후전운동피질(dorsal premotor cortex), 변연상회(supramarginal gyrus), 대상엽(cingulate cortex), 상두정엽(superior parietal lobe)과 소뇌에서 신경활성이 증가하는 것으로 확인되었으며(Gre'zes & Decety, 2001), 흥미롭게도 Sabate'

등(2004)의 연구결과 운동심상과 관련된 뇌 영역에서의 신경활성은 주로 왼쪽 대뇌반구에서 우세하게 나타난다고 보고하였다. 우측 편마비 환자는 임상적으로 언어와 말하기 능력의 결손을 특징으로 하며, 특히 운동계획과 순차적인 운동실행에 어려움을 지니고, 일반적으로 운동실행증(apraxia) 등의 행동학적 증상을 나타내는 경우가 많다. Sabate 등(2004)의 연구결과를 임상적으로 적용할 경우 운동심상 기법을 우측 편마비 환자에게 적용할 경우 손상 뇌조직의 재조직화와 신경활성의 가소적 변화에 긍정적 영향을 미칠 수 있을 것으로 생각할 수 있다. 다만 이들 우측 편마비 환자들의 경우 구두명령이나 구두신호에 따라 과제를 수행하는 능력에 어려움을 나타내는 경우가 많으므로, 주의 깊은 중재기법의 적용과 더불어 명확한 환자 평가 과정이 필요하다. 임상적으로 이들 환자들의 인지심리학적 문제와 운동기억, 작업기억 및 상상능력 등의 문제를 평가하는데 유용한 표준화된 평가도구가 많이 있으므로 이러한 평가도구를 적절히 사용하여 분석할 수 있는 능력은 필수적이다.

기능적자기공명영상을 사용하여 운동심상의 효과를 연구한 Liu 등(2014)의 흥미로운 연구결과에 의하면 신체훈련과 운동심상을 결합하여 적용한 환자 군에서 손상 뇌 영역의 일차감각피질(primary sensory cortex)이 활성화 되고 손상 반대쪽 일차운동피질의 활성이 감소되는 것을 확인하였다. 이는 운동기능학습과 관련된 뇌 신경생리학적 변화를 확인할 수 있는 매우 흥미로운 연구결과로써, 손상 뇌 영역의 신경활성 증가를 유도하면 정상적인 뇌반구간억제를 균형적으로 작동하게 도와주고 잃어버린 기능의 회복을 도울 수 있다는 것을 증명하는 매우 우수한 연구결과로 사료된다.

임상 연구결과 뇌졸중 후 운동기능의 회복은 일차 운동피질과 운동기능 시스템에 포함되는 다른 피질영역의 활동변화와 밀접한 관련이 있는 것으로 확인되었다(Weiller et al, 2006). 비침습적 뇌자극(noninvasive brain stimulation) 기기의 발달에 따라 이들 자극기는 손상동측 피질 흥분성을 증가시키고, 손상반대측 피



질 흥분성을 감소시켜 뇌반구간 상호작용을 조정함으로써 정상 뇌기능으로의 회복을 촉진하는 방법으로 사용되고 있다(Webster et al, 2006). 이 중 경두개자극(TMS)은 비교적 안전하고 뇌 피질의 신경 흥분성을 조절하기에 효과적인 자극기구로, 뇌졸중 환자의 운동학습을 유도하고 운동기억능력의 강화에 영향을 미치는 것으로 확인되었고(Reis et al, 2008), 1282명의 뇌졸중 환자를 대상으로 한 무작위 임상시험 메타 분석결과 경두개자극 등의 비침습적 뇌자극 기기를 적용한 실험군에서 운동성과 등의 개선 효과가 있는 것으로 확인되었다(Adeyemo et al, 2012). 특징적으로 비정상적인 신경가소성(maladaptive plasticity)은 뇌반구간 상호작용(interhemispheric interaction)과 뇌반구간 억제(interhemispheric inhibition) 기능의 불균형에 의해 발생한다(Takeuchi et al, 2012). 특징적으로 이러한 비정상성은 손상동측 피질(ilesional cortex)의 흥분성 감소와 손상반대측 피질(contralesional cortex)의 과도한 흥분성으로 인한다.

**임상적용성.** 뇌졸중 후 뇌 손상 영역과 손상 정도에 따라 심각한 기능결손이 발생하지만 운동기능 장애가 있는 환자들이라도 운동심상 능력은 정상적이거나 부분적으로 보존되는 것으로 확인되었다(Johnson et al, 2002; Jackson et al, 2001). 이들의 연구결과는 운동기능 회복을 위한 임상적 치료중재의 한 방법으로 운동심상의 적용 가능성을 논증하는 결과로 사료된다. 임상적으로 선행적인 인지심리학적 평가와 기능 및 기억능력 등의 명확한 환자평가에 근거하여 운동기능 결손이 있는 환자에게 새로운 치료접근의 일환으로 과학적인 치료 알고리즘을 설정하고 의료수가화(醫療酬價化)하여 물리치료의 치료적 질을 담보하여야 한다.

운동심상은 운동조절과 운동계획의 기본이 되는 신경회로의 형성을 자극한다는 것을 유추할 수 있다. 운동계획은 운동 목적에 따라 그에 필요한 적절한 운동을 준비하고 실행하기 위한 인지적 과정이다. 또한 운동기능에 대한 내적 묘사를 가능케 하는 능력은 운동경험 및 숙련된 운동기술의 발달과 깊은 관련성이

있다(Johnston, 2009). 운동심상의 임상적 적용과 관련된 연구결과 단순한 활동과 같은 것들을 상상하는 운동심상보다는 복잡한 운동과정을 상상할 때 운동유발 전위가 더 강하게 나타나는 것으로 확인되었다(Kultz-Buschbeck et al, 2003). 운동심상을 환자에게 적용할 때 각 운동단계별 난이도를 잘 조절하여 환자의 운동심상에 대한 이해도와 친밀성을 높이고, 보다 효과적인 신경동원과 운동학습을 위해 환자상태에 따라 운동심상 난이도를 단순과정에서 복잡한 과정으로의 심상전이를 적용하는 것이 보다 효과적으로 환자의 기능회복을 도울 수 있는 것으로 사료된다.

운동심상만 적용할 경우에도 뇌의 재구성을 촉진할 수 있지만(Pascual-Leone et al, 1995; Sacco et al, 2006), 운동심상과 신체훈련을 병행할 경우 보다 우수한 개선 효과가 있는 것으로 확인되었다(Jackson et al, 2001; Dickstein & Deutsch, 2007). 1회의 실제 운동실행과 5회의 운동심상 또는 1회의 실제 운동실행과 10회의 운동심상 방법이 추천되며, 주의 집중력이 요구되는 경우 정신적 반복의 수를 점진적으로 증가하는 것을 제안하였다(Malouin et al, 2004; Malouin et al 2004). 물리치료 임상적으로 매우 가치 있는 연구결과가 있다. 피질척수 흥분성을 실험한 연구에서 Kaneko 등(2014)의 연구자는 피질척수 흥분성이 수의적 근수축동안 확인된 것과 유사하게 운동심상동안에도 피질척수 흥분성이 증가하며, 특히 기능적전기자극과 함께 운동심상을 적용할 경우 운동심상만 적용한 실험군보다 더욱 큰 피질척수 흥분성이 나타난다는 것을 보고하였다. 이들의 연구 결과는 운동심상과 감각자극 입력을 결합할 경우 임상 치료 효과를 제시하는 매우 의미 있는 연구이다.

유병기간에 따른 운동심상의 치료적 효과에 대한 연구결과 급성기 뇌졸중 환자(Page, 2000), 만성기 뇌졸중 환자(Page et al, 2005) 모두에게 효과적인 것으로 확인되었다. 이들 연구 중 2005년 Page 등의 연구결과에 의하면 뇌졸중 유병 후 1년 이상 경과한 환자의 경우에도 물리치료와 운동심상을 결합하여 치료할 경우 상지 팔 기능이 보다 유의하게 개선되는 것을 확인

하였다. 임상적으로 상지 팔 기능의 회복은 매우 느리거나, 환자상태와 병변영역에 따라 다양하지만 회복되더라도 회복양상이 미미한 것으로 알고 있다. 1년 이상이 경과한 시점에도 물리치료와 운동심상의 결합으로 팔 기능이 유의하게 회복된다는 것은 우리 물리치료사에게 치료적으로 시사하는 것이 매우 많다 할 수 있다.

뇌졸중 후 치료 시기의 중요성을 확인하기 위한 흥미로운 연구들이 있다(Biernaskie et al, 2004; Yang et al, 2003). Biernaskie 등(2004)은 중대뇌동맥 폐색성 뇌경색 실험 동물을 만든 후 3군의 실험군을 설정하여 뇌졸중 5일 후, 14일 후, 30일 후 각각 재활훈련을 적용한 결과, 뇌졸중 초기 5일부터 적극적으로 훈련을 시작한 동물군에서 기능적 성과가 더욱 증가되는 것으로 확인되었다. 또한 Yang 등(2003)의 연구에서도 초기의 치료가 뇌경색을 감소시키고 신경기능을 개선하는 것으로 확인되었다. 하지만 신경손상 초기 과도한 감각운동신경계의 자극은 흥분성 신경독성을 유발하여 신경손상을 악화시킬 수 있다(Humm et al, 1999). 흥분독성(excitotoxicity)은 흥분성 신경전달물질인 글루타메이트가 NMDA (N-methyl-D-aspartate) 수용체의 활성을 통하여, 세포내에  $Ca^{2+}$  과  $Na^{+}$  등의 양이온들의 과도유입을 유도하여 신경세포의 사멸을 유도하는 것으로, 글루타메이트 유래 신경독성(glutamate neurotoxicity)이라고 한다. 특히 세포내  $Ca^{2+}$ 이 쌓이면 1) Calpain (calcium-activated neutral protease family)등의 고분자들의 분해를 촉진하는 효소가 활성화되거나, 2) NOS(nitric oxide synthase)가 활성화되어 NO (nitric oxide)가 생성되고, 생성된 NO는 superoxide ( $O_2^-$ )와 반응하여 peroxynitrite ( $ONOO^-$ )를 만들며 신경세포의 사멸을 유도할 수 있다. 위에 언급한 연구결과들을 종합해 볼 때 급성기 물리치료 임상에서의 환자치료는 과도한 신체활동 자극을 유발하는 강제적 치료보다 환자의 인지심리를 안정화시키고, 감각운동신경계 신경회로 활성을 도와주는 운동심상과 자세유지, 정상운동 패턴 인식화(orientation), 자세안정성, 정상 근긴장성 유지 등의 절제되고 통제된 방식의 환자 맞춤형

형 치료접근이 필요할 것으로 사료된다.

#### IV. 치료 알고리즘 모델 제시

성인 뇌 조직의 뇌 피질 도식영역은 고정된 것이 아니라 외부의 자극 또는 학습에 의해 변화되는 매우 동적인 구조이다(Lledo et al. 2006). 흥미로운 연구 결과로, 피질 영역의 피질 재구성은 비교적 짧은 시간의 무사용(disuse)시에도 발생하는 것으로 확인되었다(Zanette et al, 2004). 이들은 상지를 고정한 후 운동피질의 피질 흥분성을 연구한 결과 짧은 기간 동안의 고정에도 뇌 피질은 즉각적으로 반응하며 신경생리학적 기능이 변화되는 것을 확인하였다. 이들의 연구는 뇌 피질의 역동성을 확인할 수 있는 중요한 과학적 근거를 제시하는 결과이며, 잃어버린 기능 개선을 위한 물리치료 임상에서 행하는 모든 과정을 치료접근의 계속적으로 유지해야하는 필요성을 설명할 수 있다. 전형적으로 실제 운동실행과 밀접한 관련이 있는 감각인자는 1) 고유수용성 정보, 2) 촉각 정보, 3) 전정정보, 4) 시각정보, 5) 청각정보가 있다(Magill, 1998; Mulder & Hochstenbach 2003). 이들 정보의 지속적인 적용은 환자 뇌기능의 활성화와 기능회복에 어떠한 영향을 미치게 될까? 운동심상과 동작관찰의 임상 적용은 위의 5가지 감각입력 정보입력과 어떤 관련성으로 영향을 미치게 될까? 뇌의 각 영역은 말초자극 또는 중추입력자극의 다양화로 인해 계속적인 변화과정을 거치게 되며, 이러한 변화과정은 “정상적·비정상적(adaptive·maladaptive)패턴으로 뇌의 계속적인 변화를 유도하게 된다. 적절치 못한 감각입력은 비정상적 가소성을 유도하게 된다. PNF는 고유수용성신경근의 적절한 자극을 통해 기능손상 환자의 기능회복을 돕는 치료적 기법이다. 뇌의 변화는 학습의 결과로 반영된다. 다양한 고유수용성수용기 자극을 통한 뇌 신경회로의 변화를 입력 의존적 가소성(input-dependent plasticity)이라 명할 수 있으며 이러한 입력의존적 변화과정은 치료사의 치료접근 방식에 따라 즉각적으로

반응하게 된다. 다음의 **운동심상 3단계 치료 알고리즘 모델**은 본 논문에서 언급한 다양한 연구결과들을 근거로 신체 운동기능의 회복을 촉진하고 정상적인 뇌 가소성 변화를 유도하기 위하여 물리치료 임상환경에서 운동심상을 적극 도입 적용하기 위한 새롭고 선도적인 치료 틀을 제시한다(Fig. 2).

**STEP 1. 운동심상 친화단계.**

운동심상에 대한 친밀감을 높이기 위한 1단계는 운동연상에 대한 정보, 연상방법, 제시된 실제 운동과제 연상수행 참여방법, 운동심상의 치료적 목적, 운동심상을 통해 얻을 수 있는 치료적 이득 등에 관한 사항을 치료과정에 참여하는 환자에게 명확하고 간략하게 설명하고, 필요에 따라 환자보호자에게도 이 과정에 동참하여 병실 또는 향후 퇴원 후 가정에서도 운동심상을 사용하여 지속적인 치료활동에 참여할 수 있도록 교육한다. 심상 치료실은 독립된 공간의 조용하고 집중력과 안정감을 줄 수 있는 공간으로 구성되어야 한다. 초기 운동심상 친화단계 중 운동심상 적용방법을 설명하고 교육하는 과정에서 환자의 인지심리학적 반응을 면밀히 검토하고 체크하는 비밀스런 평가과정 또한 중요하다. 운동심상 치료 목적에 관한 명확한 이해와 적극적이고 헌신적인 참여는 치료 성과의 질을 보장하는 핵심인자가 된다. 특히 동기가 명확한 환자의 경우 치료적 효과가 뛰어난 것으로 확인되었다(Cumming et al, 2002). 환자의 집중력과 참여 태도를 긍정적으로 유도하기 위해 운동심상적용 친화단계에 동작관찰 방법을 적용하여 전체적인 심상운동과정과 각각의 목적인 운동실행 과제에 대한 시각적 학습유도를 통해 모의 연상과정을 익힐 수 있는 기회를 우선적으로 제공한다. 각 과제수행 단계 중 과제와 과제연결 단계에는 반드시 휴식 또는 이완의 시간을 제공하여야 한다. 특별히 과제 수행전 이완과 각 과제와 과제로의 이행단계에서의 휴식과 이완은 충분한 기억형성과 강화에 도움을 주고 다음과제로의 이미지 형성에 집중력과 활력을 제공할 수 있다(Murphy, 1994). 운동심상 1단계의 친화단계 운동심상과정에서 적용 인칭

은 1인칭 관점과 3인칭관점 모두를 접할 수 있도록 교육한다. 특히 1인칭관점의 운동심상 중 운동감각심상(KI)과정을 적극적으로 교육하고 적용하여, 향후 직접적인 운동기능을 수행하기 위한 운동-감각 피드백 과정을 경험하게 한다. 요약하면, 운동심상 선행교육 후 1) 이완과정, 2) 동작관찰(ADL, 이동동작-비디오/오디오테잎), 3) 운동심상(치료사 직접지도)의 과정으로 진행한다. 이와 같은 운동심상 1단계 친화단계 전 과정은 20분 이내로 제한하고(Driskell et al, 1994) 한주에 4회 적용한다. 환자의 능력에 따라 운동심상 치료과정을 조정할 수 있다.

**Step 2. 외현학습단계.**

운동심상 치료중재 2단계는 운동학습 단계의 외현(explicit) 개념을 적용하여 명확하게 환자의 기능적 개선을 도모하기 위한 단계로, 잃어버린 기능의 회복과 새로운 운동기술 획득을 위한 세부적 운동패턴을 운동심상 기법을 적용하여 반복적으로 경험하고 학습하게 하는 서술적 지식(declarative knowledge)의 획득 단계이다. 이 단계의 핵심적 사항으로 특정한 사실과 사건에 대한 기억정보를 저장할 수 있도록 정확하고 명료한 운동심상 기법을 적용하여 의식적 경험의 획득 기회를 제공해야 한다. 정교한 운동기능 획득을 위해 운동심상 과정은 단순한 과제로부터 복잡한 과제로 진행하며, 과제수행 시간은 정상수행 시간보다 길게 하여 환자의 반응을 유도하고 기다리는 인내의 시간이 필요하다. 특히 인지심리학적으로 목적인 운동학습을 강화하기 위해서 높은 주위집중이 절대적으로 필요한 단계임으로 **“반응유도-결과평가”**의 인지행동학적 분석을 계속 확인하고 체크해야 한다.

운동심상 2단계 외현학습단계 초기에는 반드시 잘 훈련된 전문 물리치료사의 밀착 관리 하에 운동심상 각 운동과제와 운동실행에 대한 서술적 지식의 학습과정을 경험하게 하여야 한다. 특히 감각입력 피드백 의존성이 높은 운동학습과정 초기 단계와 밀접한 이 단계의 운동심상과정에서 **“피드백 프로세싱”** 분석평가는 매우 중요하다. 운동심상과 실제 신체수행을 결

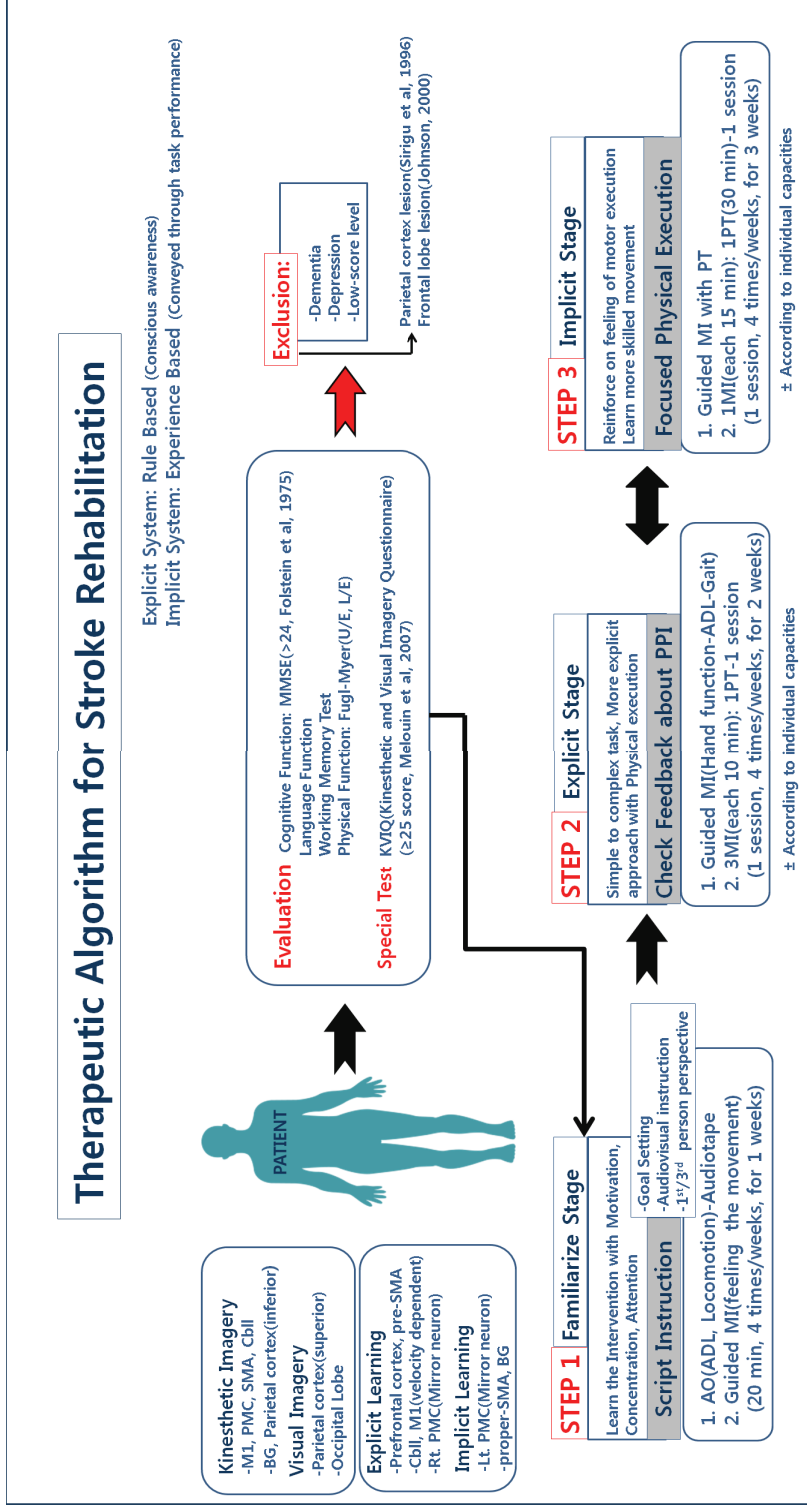


Fig. 2. Schematic representation of motor imagery approach combined with physical therapy for stroke intervention in neurological rehabilitation. This therapeutic algorithm is proposed here in an attempt to elaborate a therapeutic models of the physical therapy interventions in clinical practice. The present therapeutic algorithm models would benefit form incorporating clinical intervention in adjunct with specific physical therapy for treating individuals with stroke. AO indicates action observation; MI, motor imagery; PPI, physical performance imagery; PT, physical therapy; M1, primary motor cortex; SMA, supplementary motor areas; Cbl, cerebellum; BG, basal ganglia; PMC, premotor cortex.

합한 이 단계의 운동심상단계에서 연상을 통한 운동 계획, 운동수행과 실제 운동기능 활동과정의 신경생리행동기능학적 재조직화(reorganization)를 위해서는 신체수행-심상(physical performance-imagery)과정에 대한 피드백 프로세싱을 반드시 체크해야 한다. 운동 감각심상의 고유수용성신경근에 대한 피드백 즉 “내재적 피드백(intrinsic feedback)을 사용하여 운동감각, 움직임 느낌, 사지의 촉감, 주변 환경 인식, 시공간적 감각개념 등의 운동수행관련 정보를 통합하고 수정할 수 있도록 교육하고 계속적으로 확인해야 한다. 또한 외재적 피드백(extrinsic feedback)의 결과지식(knowledge result)을 사용하여 환자에게 운동심상 과정에서 직접적으로 느낀 여러 감각인식에 대해 표현하고 이야기 할 수 있도록 치료중재 과정동안 계속 격려하고, 운동 심상+신체수행 이후 과제를 잘 수행하였는지, 목표한 특정과제 수준에 도달했는지 등의 운동심상 결과 성과를 환자 스스로 분석하게 하여 신체수행심상과정에서의 “오류”를 인지할 수 있도록 밀착 관리하고 도와 준다. 또한 치료사는 운동학적 피드백인 수행지식(knowledge of performance)을 사용하여 환자의 운동패턴, 동작, 과제 수행능력 등의 운동학에 관한 정확한 분석 정보를 제공하여 환자로 하여금 정상 운동패턴에 대한 운동인식을 인지하고 개선할 수 있도록 도와 주어야 한다. 본 연구에서 제안하는 치료중재 알고리즘은 3MI:1PT(physical therapy)로 제안하지만 운동심상 횟수의 증가는 환자의 수준과 필요에 따라 유연하게 증감할 수 있다.

### Step 3. 암묵학습단계.

운동심상 적용 치료알고리즘 모델 3단계는 운동심상과 실제운동 수행을 결합하여 자동적이고 기술적인 신체기능을 학습할 수 있도록 유도하여 환자의 잃어버린 기능 개선을 효과적으로 촉진하고자하는 단계이다. 서술적 움직임 지식의 초기 외현학습단계 이후 각 운동패턴의 기술적 완성을 위해 심상과 실제 신체 활동을 결합한 중재방법을 적용하여 실제적인 고유수용성신경근 감각의 직접적인 입력을 통한 피드백 프

로세싱 과정을 개념화 한다. 중추 뇌 영역에서의 피드백 프로세싱 개념화는 신체 동작 각 움직임의 기능적 움직임 방법에 대한 운동기억과 무의식적인 자동적 신체활동 반응 사이의 조화로운 기능적 재조직화를 유도한다. 본 치료중재 단계에서 핵심적으로 적용하는 1인칭 관점의 신체움직임 운동심상의 “**운동감각 느낌**” 심상 직후, 실제 신체활동 “**운동감각 움직임 느낌**” 출력 과정의 암묵학습 과정은 보다 효과적으로 신체 기능을 개선하고 뇌 활성 영역의 재구성(mapping reorganization)과 기능적 신경 가소성(adaptive plasticity)을 유도할 것이다. 모든 단계에서 필수적으로 확인해야 하는 사항이긴 하지만 특히 이 단계의 치료중재 동안 주의 깊게 환자의 “**각성상태**”와 “**동기**”를 체크해야만 한다. 운동실행 느낌의 강화와 정상 움직임 패턴의 학습과정에서 환자의 참여도와 집중력은 치료 결과에 절대적으로 영향을 미치는 핵심 인자임은 명확하다. 물리치료 임상에서 추구하는 움직임 정상화(normalization)는 잔존기능 회복의 극대화과 기능적 정상 패턴의 극대화라는 두 개의 핵심 치료 목적 사이에서 우리들 물리치료사들에게 깊은 사색의 의미를 부여한다. 기능적 움직임 패턴은 미리 학습하여 기억된 움직임 동작에 대한 서술적 “**느낌**”을 토대로 각 환자 스스로 직접 움직임 동작을 실행할 때 정교한 운동패턴 방향으로 동작을 유도하는 물리치료사의 기술적인 치료중재로 인해 보다 정상적 패턴으로 움직임 형태가 개선될 것이다. 이때 움직임 동작의 속도는 각 환자의 개별 능력에 따라 조절하고, 실제 활동 중에도 심상 기억을 계속적으로 떠올리게 하여 시공간적 개념과 운동감각 개념을 통합할 수 있도록 유도한다. 명확한 인지사회환경 평가과정과 요구도 청취를 통해 환자 중심의 목표 지향적 신체활동인 과제중심운동(task oriented movement)을 적용하여 환자의 흥미도를 유발하고 실생활 적용성을 향상시키는 것 또한 매우 중요하다. 기술적 움직임 학습은 결과적으로 각 환자의 실생활로 돌아가 그에 알맞은 기능적 활동을 의미 있게 수행할 수 있도록 하는 것에 목적을 두어야 한다. 암묵적 학습과정 단계에서 내적묘사 1인칭 운동감각

심상+물리치료 치료적 통합 과정의 최종 단계에서 환자의 기능수준과 인지능력에 따라 “문제해결” 과제를 제시하여 “인지-신체”의 종합적 해결능력의 개선을 유도하는 과정을 접목할 수 있다. 운동심상 적용 3단계 과정에서 환자의 기능 상태에 따라 운동심상의 횟수를 추가할 수 있으며, 또한 2단계 운동심상 단계의 핵심 체크리스트인 피드백과정을 접목하여 종합적인 치료중재 모델로 적용할 수 있다.

## V. 결론

뇌졸중 이후 환자 신체활동의 기능적 회복을 촉진하기 위한 치료적 접근 과정은 물리치료 임상에서의 가장 중요한 치료적 핵심 중의 하나이다. 손상된 뇌기능의 회복은 단순한 말초적 개념의 신체 움직임만의 회복을 의미하는 것이 아닌 중추 뇌 영역에서 활동의 존적 기능적 가소성(activity dependent neural plasticity)이 동반되어야 한다. 뇌가소성이란 손상 뇌기능의 회복 또는 손상된 기능의 재조직화를 의미하며 이들 과정은 신경조직세포생리학적 변화 과정을 동반한다. 운동경험 또는 신체활동은 피질 수준에서 뇌 도식화 영역의 재구성을 유도하며 세포학적으로 새로운 신경연접형성(synaptogenesis), 신경세포발생(neurogenesis) 등의 미세세포 수준의 변화까지 유도할 수 있다. 체계적인 감각입력과 명확한 운동출력의 치료적 이득을 획득하기 위해 적용되고 있는 물리치료 임상중재 기법들은 신체기능 수준의 회복뿐 아니라 뇌 영역의 신경세포조직형태생리기능의 변화를 유도하는 중요하고 치명적인 중재임은 분명하다. 특히 세포학적 수준의 장기강화(long term potentiation)와 장기억제(long term depression)는 신경세포 신호체계의 분자적 수준에서의 변화를 통한 학습과정을 의미하며 신경세포연접 결합성의 형태학적 변화를 동반하는 것이다. 전문 과학적 지식과 숙련된 치료기법을 지닌 물리치료사에 의해 적용되는 다양한 치료적 운동, 기능회복 촉진기법, 새로운 운동 기능 학습 등의 다양한 경험

자극은 뇌 신경세포의 세포분자 수준에서의 신경세포 재구성화와 신경회로 형성에 영향을 미칠 것이다. 성체 뇌 조직에서 일어나지 않을 것으로 생각되었던 새로운 신경세포의 발생이 해마와 뇌실영역에서 발생된다는 것을 확인한 이후, 새로운 신경세포의 발생은 운동, 감각자극, 달리기 등의 신체자극과 활동에 의해 더욱 촉진된다는 사실은 흥미롭고도 과학적인 사실로 우리들 물리치료사에게 많은 것들을 시사한다.

운동심상, 비교적 안전하고 효과적인 증재방법임은 많은 연구결과들로 확인되었다. 실제 운동수행동안 나타나는 중추 뇌 영역의 활성화와 유사한 반응 양상이 운동심상동안에도 나타난다는 것은 물리치료 임상에서의 다각적 접근을 가능케 하는 과학적 사실이다. 본 연구는 운동심상과 물리치료 임상중재를 결합한 최초의 치료알고리즘을 제시하는 논문으로 사료된다. 각 단계의 치료적 운동심상과정은 운동학습의 기전적 과정을 준용하여 설계하였으며 물리치료 임상환경의 적합성을 고려하여 디자인하였다. 물리치료 임상에서의 표준화된 적용을 위해서는 많은 후속연구와 관련 전문가들의 과학적 토론과정이 반드시 필요할 것이다. 이러한 과정은 반드시 우리들 물리치료사들의 주도적 의지와 열정으로 과학적 연구 분석이 진행되어야 할 것이다.

## References

- Adeyemo BO, Simis M, Macea DD, et al. Systematic review of parameters of stimulation, clinical trial design characteristics, and motor outcomes in non-invasive brain stimulation in stroke. *Frontiers in Psychiatry*. 2012;3(88):1-27.
- Biemaskie J, Chernenko G, Corbett D. Efficacy of rehabilitative experience declines with time after focal ischemic brain injury. *Journal of Neuroscience*, 2004; 24(5):1245-1254.
- Buccino G, Binkofski F, Riggio L. The mirror neuron system

- and action recognition. *Brain and Language*. 2004;89(2):370-376.
- Butefisch CM, Netz J, Wessling M, et al. Remote changes in cortical excitability after stroke. *Brain*. 2003;126(2):470-481.
- Calautti C, Naccarato M, Jones PS, et al. The relationship between motor deficit and hemisphere activation balance after stroke: a 3T fMRI study. *Neuroimage*. 2007;34(1):322-331.
- Caspers S, Zilles K, Laird AR, et al. ALE meta-analysis of action observation and imitation in the human brain. *Neuroimage*. 2010;50(3):12.112.
- Cramer SC, Lastra L, Lacourse M, et al. Brain motor system function after chronic, complete spinal cord injury. *Brain*. 2005;128(12):2941-2950.
- Cumming J, Hall C, Harwood C, et al. Motivational orientations and imagery use: a goal profiling analysis. *Journal of Sports Sciences*. 2002;20(2):127-136.
- Decety J. Do imagined and executed actions share the same neural substrate? *Cognitive Brain Research*. 1996;3(2):87-93.
- Deiber MP, Wise SP, Honda M, et al. Frontal and parietal networks for conditional motor learning: a positron emission tomography study. *Journal of Neurophysiology*. 1997;78(2):977-991.
- Dickstein R, Deutsch JE. Motor imagery in physical therapist practice. *Physical Therapy*. 2007;87(7):942-953.
- Driskell JE, Copper C, Moran A. Does mental practice enhance performance? *Journal of Applied Psychology*. 1994;79(4):481-492.
- Dunsky A, Dickstein R, Marcovitz E, et al. Home-based motor imagery training for gait rehabilitation of people with chronic post stroke hemiparesis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2008;89(8):1580-1588.
- Fery YA. Differentiating visual and kinesthetic imagery in mental practice. *Canadian Journal of Experimental Psychology*. 2003;57(1):1-10.
- Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR. "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patient for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*. 1975;12(3):189-198.
- Fourkas AD, Avenanti A, Urgesi C, et al. Corticospinal facilitation during first and third person imagery. *Experimental Brain Research*. 2006;168(1-2):143-151.
- Gerardin E, Sirigu A, Lehericy S, et al. Partially overlapping neural networks for real and imagined hand movements. *Cerebral Cortex*. 2000;10(11):1093-1104.
- Glisky W, Kihlstrom JF. Internal and external mental imagery perspectives and performance on two tasks. *Journal of Sport Behavior*. 1996;19(1):3-18.
- Grafton ST, Woods RP, Tyszka JM. Functional imaging of procedural motor learning relating cerebral blood flow with individual subject performance. *Human Brain Mapping*. 1994;1(3):221-234.
- Grezes J, Decety J. Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: a meta-analysis. *Human Brain Mapping*. 2001;12(1):1-19
- Guillot A, Collet C, Nguyen VA, et al. Brain activity during visual versus kinesthetic imagery: an fMRI study. *Human Brain Mapping*. 2009;30(7):2157-2172.
- Halsband U, Lange RK. Motor learning in man: A review of functional and clinical studies. *Journal of Physiology Paris*. 2006;99(4-6):414-424.
- Hazeltine E, Grafton ST, Ivry R. Attention and stimulus characteristics determine the locus of motor-sequence learning: a PET study. *Brain*. 1997;120(1):123-140.
- Humm JL, Kozlowski DA, Bland ST, et al. "Use-dependent exaggeration of brain injury: is glutamate involved?" *Experimental Neurology*. 1999;157(2):349-358.
- Inoue K, Kawashima R, Satoh K, et al. Activity in the parietal area during visuomotor learning with optical rotation. *Neuroreport*. 1997;8(18):3979-3983.

- Jackson PL, Lafleur MF, Malouin F, et al. Potential role of mental practice using motor imagery in neurological rehabilitation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2001;82(8):1133-1141.
- Jeannerod M. Mental imagery in the motor context. *Neuropsychologia*. 1995;33(11):1419-1432.
- Jeannerod M. Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage*. 2001;14(1):103-109.
- Jenkins LH, Brooks DJ, Nixon PD, et al. Motor sequence learning: a study with positron emission tomography. *Journal of Neuroscience*. 1994;14(6):3775-3779.
- Johnson SH. Imagining the impossible: intact motor representations in hemiplegics. *Neuroreport*. 2000;11(4):729-732.
- Johnson SH, Sprehn G, Saykin AJ. Intact motor imagery in chronic upper limb hemiplegics: evidence for activity-independent action representations. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2002;14(6):841-852.
- Johnston MV. Plasticity in the developing brain: implications for rehabilitation. *Developmental Disabilities Research Reviews*. 2009;15(2):94-101.
- Kaneko F, Hayami T, Aoyama T, et al. Motor imagery and electrical stimulation reproduce corticospinal excitability at levels similar to voluntary muscle contraction. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*. 2014;11:94.
- Kasess CH, Windischberger C, Cunnington R, et al. The suppressive influence of SMA on M1 in motor imagery revealed by fMRI and dynamic causal modeling. *NeuroImage*. 2008;40(2):828-837.
- Keyzers C, Kaas JH, Gazzola V. Somatosensation in social perception. *Nature Reviews Neuroscience*. 2010;11(6):417-428.
- Kim JG, Chung ST. Auditory, visual, and kinesthetic imagery on badminton service learning and performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology*. 1998;20:67-67.
- Kim JW, Roh HM, Son EB, Jang EJ. PNF dance and mirror neuron: Comparative analysis of electroencephalographic difference between action observation and motor performance. *Journal of Sunlin College Physical Therapy*. 2014;1-12.
- Kuhtz-Buschbeck JP, Mahnkopf C, Holzknacht C, et al. Effector-independent representations of simple and complex imagined finger movements: a combined fMRI and TMS study. *European Journal of Neuroscience*. 2003;18(12):3375-3387.
- Liepert J, Hamzei F, Weiller C. Motor cortex disinhibition of the unaffected hemisphere after acute stroke. *Muscle and Nerve*. 2000;23(11):1761-1763.
- Liu H, Song L, Zhang T. Changes in brain activation in stroke patients after mental practice and physical exercise: a functional MRI study. *Neural Regeneration Research*. 2014;9(15):1474-1484.
- Lledo PM, Alonso M, Grubb MS. Adult neurogenesis and functional plasticity in neural circuits. *Nature Reviews Neuroscience*. 2006;7:179-193.
- Lotze M, Halsband U. Motor imagery. *Journal of Physiology (Paris)*. 2006;99(4-6):386-395.
- Maeda F, Kleiner-Fisman G, Pascual-Leone A. Motor facilitation while observing hand action: specificity of the effect and role of observer's orientation. *Journal of Neurophysiology*. 2002;87(3):1329-1335.
- Magill RA. Motor learning: concepts and applications. New York. McGraw Hill. 1998.
- Malouin F, Belleville S, Desrosiers J, et al. Working memory and mental practice after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2004;85(2):177-183.
- Malouin F, Richards CL, Jackson PL, et al. The kinesthetic and visual imagery questionnaire (KVIQ) for assessing motor imagery in persons with physical disabilities: are liability and construct validity study. *Journal of Neurologic Physical Therapy*. 2007;31(1):20-29.
- Malouin F, Richards CL, Belleville S, et al. Training mobility



- tasks after stroke with combined mental and physical practice: a feasibility study. *Neurorehabilitation Neural Repair*. 2004;18(2):66-75.
- Malouin F, Richards CL, Durand A, et al. Reliability of mental chronometry for assessing motor imagery ability after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2008;89(2):311-319.
- Malouin F, Richards CL, Jackson PL, et al. Brain activations during motor imagery of locomotor-related tasks: a PET study. *Human Brain Mapping*. 2003;19(1):47-62.
- Malouin F, Richards CL, Jackson PL, et al. The Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire (KVIQ) for assessing motor imagery in persons with physical disabilities: a reliability and construct validity study. *Journal of Neurologic Physical Therapy*. 2007; 31(1):20-29.
- Mulder Th, Hochstenbach J. Motor control and learning: implications for neurological rehabilitation. In: Greenwood RJ (ed) *Handbook of neurological rehabilitation*. New York. Psychology Press. 2003.
- Munzert J, Lorey B, Zentgraf K. Cognitive motor processes: The role of motor imagery in the study of motor representations-. *Brain Research Reviews*. 2009; 60:306-326.
- Murphy SM. Imagery interventions in sport. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1994;26(4):486-494.
- 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.
- Page SJ. Imagery improves upper extremity motor function in chronic stroke patients: a pilot study. *Occupational Therapy Journal of Research*. 2000;20(3):200-215.
- 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. *Journal of Neurophysiology*. 1995;74(#):1037-1045.
- Rauch SL, Savage CR, Brown HD, et al. A PET investigation of implicit and explicit sequence learning. *Human Brain Mapping*. 1995;3(4):271-286.
- Reis J, Robertson EM, Krakauer JW, et al. Consensus: can transcranial direct current stimulation and transcranial magnetic stimulation enhance motor learning and memory formation? *Brain Stimulation*. 2008;1(4): 363-369.
- Rizzolatti G, Fogassi L, Gallese V. Motor and cognitive functions of the ventral premotor cortex. *Current Opinion in Neurobiology*. 2002;12(2):149-154.
- Rizzolatti G, Sinigaglia C. The functional role of the parieto-frontal mirror circuit : interpretations and misinterpretations. *Nature Reviews Neuroscience*. 2010;11(4):264-274.
- Rizzolatti G. The mirror neuron system and imitation. In: Hurley S, Chater N, eds. *Perspectives on imitation: from cognitive neuroscience to social science*. Cambridge, MA: MIT Press; 2005;55-77.
- Ruby P, Decety J. Effect of subjective perspective taking during simulation of action: a PET investigation of agency. *Nature Neuroscience*. 2001;4(5):546-50.
- Sabate' M, Gonzalez B, Rodriguez M. Brain lateralization of motor imagery: motor planning asymmetry as a cause of movement lateralization. *Neuropsychologia*. 2004;42(8):1041-1049.
- Sacco K, Cauda F, Cerliani L, et al. Motor imagery of walking following training in locomotor attention: the effect of "the tango lesson." *Neuroimage*. 2006;32(3):1441-1449.
- Sakai K, Hikosaka G, Miyauchi S, et al. Transition of brain activations from frontal to parietal areas in visuomotor sequencing learning. *Journal of Neuroscience*. 1998;18(5):1740-1827.
- Sanes JN, Donoghue JP. Plasticity and primary motor cortex.

- Annual Review of Neuroscience*. 2000;23:393-415.
- Sharma N, Pomeroy VM, Baron JC. Motor imagery: a backdoor to the motor system after stroke? *Stroke*. 2006; 37(7):1941-1952.
- Sirigu A, Duhamel JR, Cohen L, et al. The mental representation of hand movements after parietal cortex damage. *Science*. 1996;273(5281):1564-1568.
- Takeuchi N, Oouchida Y, Izumi S. Motor control and neural plasticity through interhemispheric interactions. *Neural Plasticity*. 2012;2012(823285):1-13.
- Van Mier H, Tempel LW, Perlmutter JS, et al. Changes in brain activity during motor learning measured with PET: effects of hand of performance and practice. *Journal of Neurophysiology*. 1999;80(4):2177-2199.
- Vries S, Mulder T. Motor imagery and stroke rehabilitation: a critical discussion. *Journal of Rehabilitation Medicine*. 2007;39(1):5-13.
- Webster BR, Celnik PA, Cohen LG. Noninvasive brain stimulation in stroke rehabilitation. *NeuroRx*. 2006;3(4):474-481.
- Weiller C, May A, Sach M, et al. Role of functional imaging in neurological disorders. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2006;23(6):840-850.
- Wright DJ, Williams J, Holmes PS. Combined action observation and imagery facilitates corticospinal excitability. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014;8(951):1~9.
- Yang YR, Wang RY, Wang PS. Early and late treadmill training after focal brain ischemia in rats. *Neuroscience Letters*. 2003;339(2):91-94.
- Zanette G, Manganotti P, Fiaschi A, et al. Modulation of motor cortex excitability after upper limb immobilization. *Clinical Neurophysiology*. 2004;115(6):1264-1275.