

운동의 상상이 피질척수계의  
흥분도와 상반억제에 미치는 영향

연세대학교 대학원

의 학 과

양 현 덕

운동의 상상이 피질척수계의  
흥분도와 상반억제에 미치는 영향

연세대학교 대학원

의 학 과

양 현 덕

운동의 상상이 피질척수계의  
흥분도와 상반억제에 미치는 영향

지도 이 성 수 교수

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2003년 7월 일

연세대학교 대학원

의 학 과

양 현 덕

# 양현덕의 석사학위논문을 인준함

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

심사위원 \_\_\_\_\_ 인

연세대학교 대학원

2003년 7월 일

## 감사의 글

짧지 않은 기간 동안 석사과정과 석사논문을 무사히 끝마칠 수 있도록 지도해 주신 이성수 선생님께 깊은 감사를 드립니다. 너그러운 마음으로 과정을 지켜봐주시고 도와주신 신경외과 김현주 선생님과 재활의학과 이영희 선생님께 감사드리며 뒤에서 조용히 여러 가지를 보살펴주신 이지용 선생님께도 진심어린 감사를 드립니다.

함께 병원에 근무하면서 힘들 때마다 저에게 용기와 격려를 주신 석승한 선생님과 손일홍 선생님께 감사드립니다.

부족한 저를 위하여 변함없는 도움을 주시는 부모님과 장인, 장모님께 감사드리며 아내와 큰 아들 정우, 작은 아들 형택이에게 사랑을 전합니다.

마지막으로 항상 저와 가족을 연단하시는 하나님께 감사드립니다.

2003년 7월

저 자 씬

# 차 례

그림 차례	ii
표 차례	iii
국문요약	1
I. 서론	2
II. 연구대상 및 방법	4
1. 연구대상	4
2. 연구방법	4
가. 경두개자기자극	5
나. 경부자기자극	5
다. 중추전달시간	5
3. 통계처리	5
III. 결과	6
1. 경두개자기자극에 의한 운동유발전위의 잠복기	6
2. 경부자기자극에 의한 운동유발전위의 잠복기	7
3. 중추전달시간	8
IV. 고찰	10
V. 결론	15
참고문헌	16
영문요약	19

## 그림 차례

그림 1. MEP at rest and during thinking about thumb abduction . . . . .	6
그림 2. Latency change ratio at rest and during thinking about thumb movement . . . . .	7
그림 3. Central motor conduction time change ratio at rest and during thinking about thumb movement . . . . .	9
그림 4. Schematic illustration of the proposed reciprocal inhibition pathways during voluntary contraction and thinking about movement . . . . .	13

## 표 차례

표 1. MEP latencies at rest and during thinking about thumb abduction on cervical stimulation .....	8
표 2. MEP latencies at rest and during thinking about thumb adduction on cervical stimulation .....	8



## 국문요약

### 운동의 상상이 피질척수계의 흥분도와 상반억제에 미치는 영향

운동피질의 경두개자극에 의해 발생된 운동유발전위가 수의적인 근수축에 의하여 촉진된다는 것은 잘 알려져 있다. 건강한 22명의 지원자를 대상으로 경두개자극기를 이용하여 운동의 상상이 피질척수계의 흥분도를 반영하는 운동유발전위의 잠복기와 내수지근에서의 상반억제에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 경두개자극은 먼저 휴식 상태에서 시행한 다음 피검자가 자신의 오른 쪽 엄지손가락의 외전 또는 내전을 상상하는 동안 시행하였다. 각각 두개와 경부자극을 하였고 중추운동전달시간을 얻었다. 운동유발전위는 우측 단무지외전근과 무지내전근에서 동시에 기록하였다. 두개자극을 하는 동안, 외전의 상상은 단무지외전근에서는 잠복기의 단축을 무지내전근에서는 잠복기의 연장을 가져왔고, 반대로 내전의 상상은 무지내전근에서는 잠복기의 단축을 단무지외전근에서는 잠복기의 연장을 가져왔다. 그러나 경부자극에 의해서 잠복기의 변화는 관찰되지 않았다. 그러므로 중추운동전달시간의 변화에 의하여 이러한 잠복기의 변화가 나타남을 알 수 있었다. 외전의 상상에 의하여 단무지외전근의 중추운동전달시간은 10.8%가 감소하였고 무지내전근의 중추전달시간은 5.8%가 연장되었다. 반면에, 내전의 상상에 의하여 단무지외전근의 중추운동전달시간은 7.3%가 연장되었고 무지내전근의 중추운동전달시간은 5.9%가 감소하였다. 이러한 결과로 운동의 상상이 사람의 피질척수로의 흥분성을 증가시킴을 알 수 있었다. 그리고 상반억제로 길항근에서의 잠복기의 연장이 나타난다고 추측된다.

---

핵심되는 말 : 운동의 상상, 상반억제, 피질척수계의 흥분도, 경두개자기자극, 중추운동전달시간

# 운동의 상상이 피질척수계의 흥분도와 상반억제에 미치는 영향

지도교수 이성수

연세대학교 대학원 신경과

양현덕

## I. 서론

인간의 대뇌운동영역에 경두개자기자극을 하는 것은 비침습적이며 운동기능을 평가하는 데 유용한 기법이다. 경두개자기자극으로 운동유발전위를 얻을 수 있으며 표면전극을 이용하여 손이나 전완부의 근육에서 기록할 수 있다. 목표근육을 약간 수축시킬 때 경두개자기자극에 의한 운동유발전위의 잠복기가 줄어들고 진폭이 커진다는 것은 이미 잘 알려진 사실이며 촉진방법으로 널리 이용되고 있다.<sup>1-3</sup>

촉진현상은 이완된 근육에서 수의적인 운동 직전에 경두개자기자극을 함으로써도 나타난다.<sup>3</sup> 경두개자기자극에 의하여 얻어지는 운동유발전위에 대하여 운동의 상상이 미치는 영향은 수의적인 근육의 수축에서 나타나는 것보다는 작지만 유사한 촉진효과를 보인다.<sup>4,5</sup> 또한, 전완부의 굴곡과 신전을 상상하는 동안 상반억제 현상이 나타남은 경두개자기자극과 H반사기법을 이용하여 확인할 수 있다.<sup>5</sup>

수의적인 근수축에 의한 촉진현상의 정확한 기전은 아직 자세히 알려지지 않았지만 척수와 피질 수준에서 일어나리라 추측된다.<sup>1,2,6</sup> 수의적인 운동의 개시 전에 나타나는 촉진현상은 피질신경원의 흥분도가 증가되어 있음을 반영한다. V-Ia 경로가 운동을 상상하는 동안 나타나는 촉진현상에 관여할 것으로 추측된다.

피질척수로와 같은 하행계가 주동근과 길항근에 미치는 효과를 순촉진, 동반촉진, 상반억제의 세 가지로 분류할 수 있다.<sup>7</sup> 이 세가지 효과 중, 내수지근과 같이 섬세한 운동을 필요로 하는 경우에는 상반억제가 중요한 역할을 할 것으로 추측된다.

본 연구에서는 운동의 상상이 수의적인 근육의 수축과 유사하게 피질척수로

의 흥분도를 증가시키는 것을 확인하고 나아가 내수지근에서도 전완부에서와 같이 상반억제가 관찰되는 지를 알아보았다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 연구대상

지원자 중에서 병력과 신경학적 검사를 통하여 피질척수로를 포함한 중추신경계 전반에 걸쳐서 이상소견이 없다고 판단되는 사람을 대상으로 검사 내용에 대한 충분한 설명을 한 후 검사를 시행하였다. 대상자는 모두 22명으로 남자 8명, 여자 14명이었으며 평균연령은 26.5세(23~33세, 표준편차: 2.7세)였다. 피검자는 모두 오른손잡이였다.

### 2. 연구방법

운동유발전위검사를 시행하기 위한 기기는 Cadwell Magnetic Stimulator MES-10 기종을 사용하였고 최대 자장의 강도는 2.0tesla이었으며 자기 코일(magnetic coil)의 직경은 9.5cm이었다. 근전도활성은 배건방법(tendon-belly method)을 이용하여 우측 단무지외전근과 무지내전근에서 동시에 기록하였다. 기록시 대역여파(bandpass filter)는 10Hz에서 20Hz사이였고 전진속도(sweep speed)는 10msec였다. 피검자가 침대에 편하게 누워 오른손을 배위에 올려놓고 완전히 이완된 상태에서 검사를 시행하였다.

먼저 휴식 상태에서 두부를 자극하였고 다음 약 30초 동안 피검자가 자신의 우측 무지를 외전시킨다고 상상하는 동안 다시 두부자극을 시행하였으며 이러한 과정을 피검자가 무지를 내전시킨다고 상상하는 동안 반복하였다. 운동을 상상하는 동안에 근육의 수축이 없었다는 것은 침근전도를 이용하여 확인하였다. 이러한 일련의 과정을 경부자극 시에도 동일하게 반복하였다. 자기자극의 강도는 최대자장강도의 80%로 자극을 가하였다. 잠복기는 자극의 시작에서부터 운동유발전위의 최초 편향까지의 값으로 정하였다.

### 가. 경두개자기자극<sup>8</sup>

대뇌운동피질을 자극하기 위해서 코일의 중심부를 좌측 전두부에 위치시키고 수부 운동피질에 국소 자기자극을 가하였고 자극기의 위치를 조금씩 변경하며 최대전위폭이 나오는 지점을 선택하고 수차례 반복하여 주동근에서 가장 짧은 잠복기를 보이는 전위파와 동시에 얻어진 길항근의 전위파를 선택하였다. 상상 동안의 잠복기에서 휴식 상태의 잠복기를 감한 값을 휴식 상태의 잠복기로 나누어 잠복기의 변화율을 구하였다.

### 나. 경부자기자극

경부를 자극하기 위해서는 코일의 중심부를 제 7경추부와 제 1흉추사이에 위치시키고 자기자극을 가하였다. 경두개자극시와 마찬가지로 방법으로 전위파를 얻었으며 상상 동안의 잠복기에서 휴식 상태의 잠복기를 감한 값을 휴식 상태의 잠복기로 나누어 잠복기의 변화율을 구하였다.

### 다. 중추운동전달시간(central motor conduction time, CMCT)

경두개자극시의 잠복기(central motor latency)에서 경부자극시의 잠복기를(distal motor latency)를 감한 값으로 정하였다.

$$\text{CMCT} = \text{central motor latency} - \text{distal motor latency}$$

상상 동안의 중추전달시간에서 휴식 상태의 중추전달시간을 감한 값을 휴식 상태의 중추전달시간으로 나누어 중추전달시간의 변화율을 구하였다.

## 3. 통계처리

모든 결과는 평균±표준편차로 표시하였다. 통계는 SPSS 10.0 통계프로그램에서 비모수검정방법인 Mann-Whitney U-test를 이용하여 휴식 상태와 무지의 외전과 내전운동을 상상하는 동안의 잠복기를 비교하였다. 이 때 p값이 0.05미만인 경우를 유의하다고 판정하였다.

### III. 결과

피검자들은 검사를 시행하는 동안 자극 부위에 다소의 불편함을 호소하였으나 별다른 어려움 없이 검사를 시행할 수 있었다.

#### 1. 경두개자극에 의한 운동유발전위의 잠복기

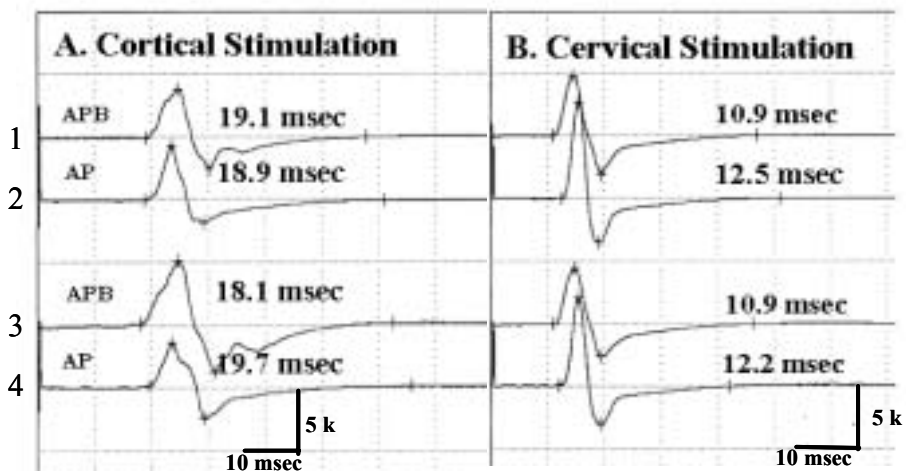


그림 1. MEP at rest and during thinking about thumb abduction. APB: 단무지외전근 (abductor pollicis brevis muscle), AP: 무지내전근 (adductor pollicis muscle), 1, 2: 휴식 상태, 3, 4: 외전의 상상.

경두개자극을 하였을 때 평균 잠복기를 보면, 무지의 외전을 상상하는 동안 주동근인 단무지외전근의 잠복기는 휴식 상태의 20.4msec에서 19.4msec로 단축되었으며( $p < 0.05$ ) 길항근인 무지내전근의 잠복기는 휴식상태의 20.3msec에서 20.7msec로 연장( $p < 0.05$ )되었다(그림 2).

반대로, 내전을 상상할 때는 주동근인 무지내전근의 잠복기는 19.9msec로 짧아졌으나 통계학적인 유의성은 없었으며, 반면에 길항근인 단무지외전근의 잠복기는 20.8msec로( $p < 0.05$ ) 길어졌다(그림 2).

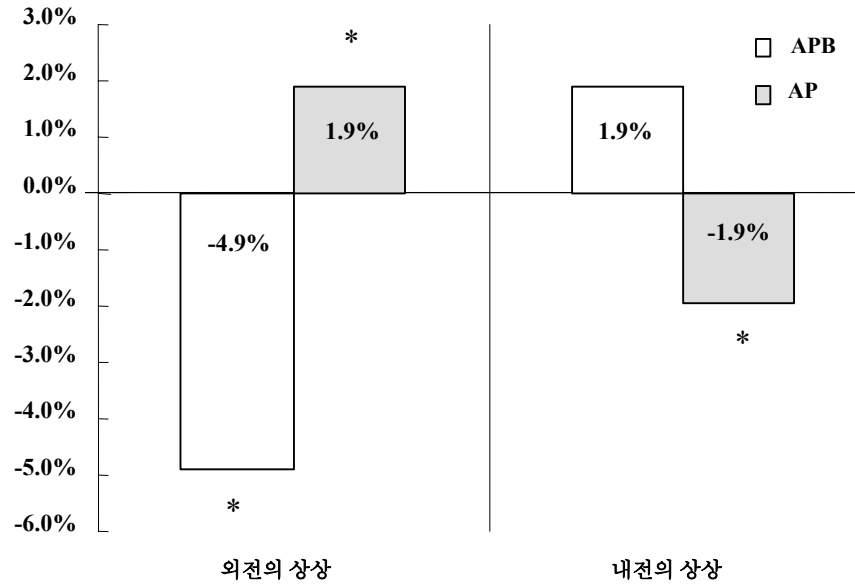


그림 2. Latency change ratio at rest and during thinking about thumb movement. \* Mann-Whitney U-test를 이용한  $p < 0.05$ , %: (상상 동안의 잠복기 - 휴식 상태의 잠복기)/휴식 상태의 잠복기, APB: 단무지외전근(abductor pollicis brevis muscle), AP: 무지내전근(adductor pollicis muscle).

## 2. 경부자극에 의한 운동유발전위의 잠복기

경부자극을 시행하였을 때는 외전이나 내전을 상상하는 동안 통계학적으로 의미있는 평균 잠복기의 변화는 관찰되지 않았다(표 1, 2).

표 1. MEP latencies<sup>1</sup> at rest and during thinking about thumb abduction on cervical stimulation

기록 부위	MEP latency(msec)		변화율(%) <sup>1</sup>
	휴식 상태	무지 외전의 상상	
단무지외전근	11.5 ± 0.8	11.5 ± 0.9	-0.5 ± 2.4
무지내전근	12.0 ± 1.0	11.9 ± 0.9	-0.6 ± 3.1

<sup>1</sup> (상상 동안의 잠복기-휴식 상태의 잠복기)/휴식 상태의 잠복기

표 2. MEP latencies<sup>1</sup> at rest and during thinking about thumb adduction on cervical stimulation

기록 부위	MEP latency(msec)		변화율(%) <sup>1</sup>
	휴식 상태	무지 내전의 상상	
단무지외전근	11.5 ± 0.8	11.5 ± 0.7	-1.0 ± 2.7
무지내전근	12.0 ± 1.0	12.2 ± 0.9	2.3 ± 5.8

<sup>1</sup> (상상 동안의 잠복기-휴식 상태의 잠복기)/휴식 상태의 잠복기

### 3. 중추운동전달시간

중추운동전달시간은 외전을 상상하는 동안 주동근의 CMCT은 휴식상태의 8.8msec에서 7.9msec로 단축되었으며( $p < 0.05$ ) 길항근의 CMCT은 휴식상태의 8.3msec에서 8.8msec로 연장되었다( $p < 0.05$ )(그림 3).

내전을 상상할 때도 마찬가지로 주동근의 경우 7.7msec로(7.3%) 짧아졌으나 ( $p < 0.05$ ), 길항근에서는 9.3msec로(5.8%) 길어졌다( $p < 0.05$ )(그림 3).



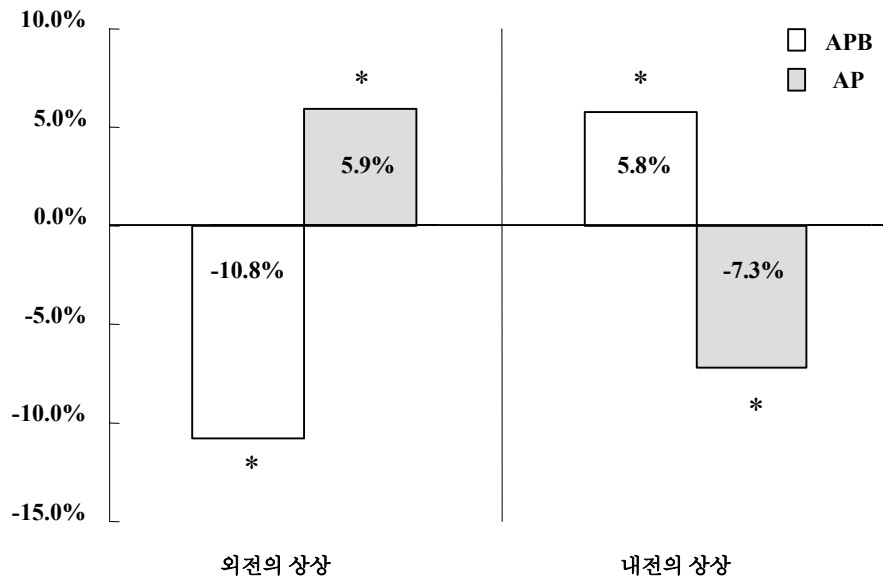


그림 3. Central motor conduction time change ratio at rest and during thinking about thumb movement. \* Mann-Whitney U-test를 이용한  $p < 0.05$ , %: (상상 동안의 중추전달시간-휴식 상태의 중추전달시간)/휴식 상태의 중추전달시간, APB: 단무지 외전근(abductor pollicis brevis muscle), AP: 무지내전근(adductor pollicis muscle).

## IV. 고찰

인간의 대뇌 피질을 자극하여 운동 신경계에 대한 검사를 시작한 것은 1980년에 Merton 등이 전기를 이용하여 대뇌피질을 자극한 연구부터라고 할 수 있다.<sup>9</sup> 그러나, 전기 자극은 통증이 너무 심해 보편적으로 사용할 수 없다는 단점이 있었다. 그 이후 1985년에 Barker 등이 자기자극을 고안하여 대뇌 피질을 통증없이 자극할 수 있는 비침습적인 방법이 제시하면서 신경계질환들에서 이를 응용하게 되었다.<sup>10</sup>

운동피질에 대한 경두개자기자극(transcranial magnetic stimulation)은 중추신경계에 대한 비침습성 검사로 인정되어있다. 이러한 검사법의 원리는 코일에 전기가 순간적으로 흐르면서 그 주위에 자장이 형성되어 대뇌에서는 전기적 형태로 바뀌어서 신경조직을 자극하는 결과를 초래한다. 피질 혹은 척수를 전기나 자기 자극한 이후 근육에서 기록한 복합근육활동전위(compound muscle action potential, CMAP)를 운동유발전위(motor evoked potential, MEP)라고 한다. 말초신경에서 자극 후에 기록한 CMAP의 전위, 형태, 잠복기는 일정하지만 이와 달리 피질에서 자극 후 근육에서 기록한 MEP는 다양한 형태를 보이며 이것은 대뇌 피질과 척수내의 신경세포체의 다양한 흥분성을 반영한다. 그러므로 가장 짧은 잠복기를 얻기 위해서는 여러 차례의 MEP기록이 필요하다. 중추전도시간(central motor conduction time, CMCT)은 피질자극과 경추 또는 요추 자극 사이의 잠복기의 차이이며 현재 임상적으로 사용되는 자기자극검사의 가장 중요한 척도이다.

수의적인 근수축 상태에서 인간의 피질척수로의 흥분성이 증가하여 운동유발전위의 잠복기는 짧아지고 진폭이 커진다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다.<sup>1,2</sup> 휴식 상태와 비교하여 수축된 근육에 피질자극을 시행하면 다음의 세 가지 변화가 생긴다. 첫째, 수의적인 수축은 복합근육활동전위를 역치 강도를 낮추고 둘째, 주어진 자극 강도하에서 휴식 상태보다 수축된 상태에서 보다 큰 반응을 보이며 셋째, 휴식 상태보다 수축된 상태에서 반응의 잠복기가 짧아진다. 이런 일련의 촉진현상(facilitation)에 대한 가설로 척수의 과흥분성과 피질 운동 뉴우론의 과흥분성

이 제기되었다. 경두개자기자극의 결과 얻어진 운동유발전위의 진폭과 역치는 잠복기와는 달리 정상인에서 매우 넓은 범위를 보인다.<sup>11</sup>

Cheney 등은 피질척수계와 같은 하행계가 주동근과 길항근에 미치는 효과를 세 가지로 분류하여, 주동근만의 수축을 일으키는 경우를 순촉진(pure facilitation), 주동근과 길항근 모두에서 수축을 일으키는 경우를 동반촉진(co-facilitation), 주동근에서는 수축을 일으키고 반대로 길항근에서는 이완을 일으키는 경우를 상반억제이라고 정의하였다.<sup>7</sup>

이 연구에서는 경두개자기자극을 통하여 운동의 상상이 피질척수로의 흥분성에 미치는 영향과 내수지근에서 상반억제를 유발시키는지를 잠복기를 비교하여 알아보았다. 운동의 상상은 피질척수로의 흥분성을 증가시켰고 내수지근에서 상반억제를 일으켰다. 무지외전운동의 상상은 단무지외전근의 흥분성을 증가시킨 반면에 무지내전근의 억제력을 가져왔으며, 반대로 무지내전운동의 상상은 무지내전근에서는 흥분성의 증가를 단무지외전근에서는 억제효과를 가져왔다. 오래 동안 주동근과 길항근 사이의 상호작용에 대한 연구가 진행되어왔지만 상반억제의 기전은 아직 확실하지는 않다.

Stephan은 양전자방출단층촬영(positron emission tomography, PET)을 이용하여 대사활성도를 측정함으로써 운동을 상상하는 동안 활성화되는 대뇌피질에 대한 연구를 하여 보조운동 영역(supplementary motor area)과 전운동영역(premotor area)이 활성화되는 것을 확인하였다.<sup>12</sup> 운동의 수행과는 달리 중심구에 위치한 일차 감각운동영역(primary sensorimotor area)의 활성화는 나타나지는 않았다. 또한 운동을 상상하는 동안 경두개자기자극을 가함으로써 전완부근육에서 근전도의 진폭이 증가하는 것을 확인하였고, 단일신경연접성 H-반사기법을 이용하여 운동을 상상하는 동안에는 운동의 수행과는 달리 척수나 근육 수준에서 흥분성의 증가가 나타나지 않음을 확인하였다. 운동을 상상하는 동안에 척수 운동신경원의 흥분성에는 변화가 없이 피질의 활성화만이 증가함을 알 수 있다.

상반억제는 피질 수준과 척수 수준에서 일어난다. 피질에서 중추에 의해 매개되는 상반억제를 설명할 만한 기전은 억제성 피질척수세포의 활성화에 의해서이다. 다른 하나의 기전은 피질의 억제성 중재신경세포의 활성화이다.

척수의 억제성 중재신경세포(Ia inhibitory interneuron)가 상반억제의 주된 경로로 여겨진다. Ia 억제성 중재신경세포는  $\alpha$ -Ia 고리를 통하여 주동근에 의해서 간접적으로 활성화된다. Tanaka는 주동근의  $\alpha$ -운동신경원의 흥분성과 길항근으로의 Ia 억제성 중재신경세포의 흥분성 사이에 밀접한 관계가 있음을 제시하였다.<sup>13</sup>

$\alpha$ -운동신경원과 마찬가지로  $\gamma$ -운동신경원과 Ia 억제성 중재신경세포도 피질척수세포로부터 단일신경연접에 의한 흥분성 신호를 받는 것으로 알려져 있다.  $\alpha$ -운동신경원과  $\gamma$ -운동신경원이 동시에 활성화되는 것을  $\alpha$ - $\gamma$ 연계( $\alpha$ - $\gamma$  linkage)라고 한다.  $\alpha$ - $\gamma$ 연계는 Ia 억제성 중재신경세포를 촉진시킬 수 있으며,<sup>13-16</sup> Ia 억제성 중재신경세포는 피질척수로를 통하여 직접적으로 신호를 받을 수 있다.<sup>13,15,16</sup>

수의적인 근수축에서 일어나는 상반억제의 가능한 경로를 도식(그림 4)으로 표현하였다. 수위적인 근수축에서 일어나는 상반억제와 운동의 상상에서 일어나는 상반억제의 경로는 유사하리라 추측된다. 상반억제는 Ia 억제성 중재신경세포를 통하여 이루어지는 데, Ia 억제성 중재신경세포는  $\alpha$ -Ia 고리(경로 I)와  $\gamma$ -Ia고리(경로 II)를 통하여 주동근으로부터 간접적으로 활성화가 되기도 하고, 피질척수로를 통하여 직접적으로 활성화가 되기도 한다(경로 III). 길항근의 운동신경원은 운동 피질로부터 억제성 신호를 받을 수 있다(경로 IV).

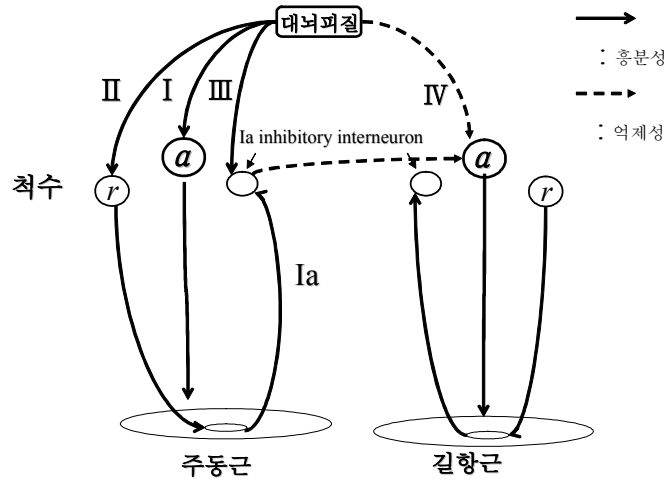


그림 4. Schematic illustration of the proposed reciprocal inhibition pathways during voluntary contraction and thinking about movement.

수의적인 근수축에서 일어나는 상반억제와는 달리 운동의 상상에서 일어나는 상반억제의 경로는 유사하지만 약간의 차이가 있다. 운동을 상상하는 경우에는 근수축과는 달리 Ia 구심성 섬유를 통한 되먹임기전이 없기 때문에, 경로 III과 경로 IV가 주로 관여할 것으로 추측된다. 주동근의 운동을 상상하는 동안 경로 III을 통하여 Ia 억제성 중재신경세포는 피질척수로를 통하여 직접적으로 활성화된다. 억제성 신호가 운동피질로부터 길항근의 운동신경원으로 내려오게 된다(경로 IV).

영장류에서 단일신경연접성 축진은 근위부의 근육보다는 원위부의 근육에서 두드러지게 나타난다.<sup>17</sup> 원위부 근육의 운동신경원은 강력한 축진 신호를 받는다. 반면에 억제는 원위부 근육보다는 근위부 근육의 운동신경원에서 자주 일어나는 것으로 알려져 있다. 이 연구에서는 원위부 근육에서도 축진 효과와 마찬가지로 억제도 비슷한 정도로 일어남을 확인하였다.

운동의 상상은 운동의 수행을 향상시키고 운동의 학습효과를 증진시킨다. 이러

한 효과는 운동을 반복해서 얻어지는 것과는 달리 구심성 되먹임 기전이 없이 얻을 수 있다. 운동을 상상하는 것은 속도, 정확성, 힘, 수행의 일관성 등과 같은 운동기능의 여러 면을 향상시킨다. 이러한 효과는 말초신경이나 근골격계의 변화와 중추신경계의 기능적인 변화를 통해서 나타난다. 운동의 상상과 상반억제는 수지근육의 운동과 같은 섬세한 운동의 학습에 중요한 역할을 할 것으로 생각되며 앞으로 운동 재활영역에 응용될 수 있으리라 여겨진다. 수의적인 운동에서 길항근의 동반수축현상은 임상적으로 뇌졸중환자에서 흔히 관찰할 수 있으며 이러한 환자에서는 주동근과 길항근의 상호작용을 조절하는 기전에 장애가 있음을 알 수 있다. 뇌졸중환자에서와 같이 이러한 조절에 장애가 있는 환자들을 통한 상반억제에 대한 연구가 이루어진다면 연관된 기전을 밝힐 수 있으리라 기대한다.

## V. 결론

건강한 젊은 사람을 대상으로 경두개자기자극을 통하여 운동의 상상이 피질척수로의 흥분성에 미치는 영향과 내수지근에서 상반억제를 유발시키는지를 운동유발 전위의 잠복기를 비교하여 알아보았다. 운동의 상상은 피질척수로의 흥분성을 증가시켰고 내수지근에서 주동근과 길항근 사이에서 상반억제를 일으켰다. 무지의 전운동의 상상은 단무지외전근의 흥분성을 증가시킨 반면에 무지내전근의 억제를 가져왔으며, 반대로 무지내전운동의 상상은 무지내전근에서는 흥분성의 증가를 단무지외전근에서는 억제효과를 가져왔다. 운동의 상상과 상반억제는 수지근육의 운동과 같은 섬세한 운동의 학습에 중요한 역할을 할 것으로 추측되며 앞으로 운동 재활영역에 응용될 수 있으리라 예상한다.

## 참고문헌

1. Day BL, Rothwell JC, Thomson PD, Dick JP, Cowan JM, A., Berardelli A, Marsden CD. Motor cortex stimulation in intact man. 2. Multiple descending volleys. *Brain* 1987;110:1191-1209.
2. Hess CW, Mills KR, Murray NM. Responses in small hand muscles from magnetic stimulation of the human brain. *J Physiol* 1987;388:397-419.
3. Rossini PM, Zarola F, Stalberg E, Caramia M. Pre-movement facilitation of motor-evoked potentials in man during transcranial stimulation of the central motor pathways. *Brain Res* 1988;458:20-30.
4. Izumi S, Findley TW, Ikai T, Andrew J, Daum M, Chino N. Facilitation effect of thinking about movement on motor-evoked potentials to transcranial magnetic stimulation of the brain. *Am J Phys Med Rehabil* 1995;74:207-213.
5. Ikai T, Findley TW, Izumi S, Hanayama K, Kim H, Daum MC, Andrews JF, Diamond BJ. Reciprocal inhibition in the forearm during voluntary contraction and thinking about movement. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1996;36:295-304.
6. Thompson PD, Day BL, Rothwell JC, Dressler D, Maertens de Noordhout A, Marsden CD. Further observation on the facilitation of muscle responses to cortical stimulation by voluntary contraction. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1991;81:397-402.



7. Cheney PD, Fetz EE, Mewes K. Neural mechanisms underlying corticospinal and rubrospinal control of limb movements. *Prog Brain Res* 1991;87:213-252
8. Oh SJ. Magnetic and high-voltage/low impedance electrical stimulation tests. In: Oh SJ, 2nd edition. *Clinical Electromyography*. Baltimore: Williams & Wilkins 1993;406-446.
9. Merton PA, Morton HB. Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject. *Nature* 1980;285:227.
10. Barker AT, Jalinous R, Freeston IL. Noninvasive magnetic stimulation of the human motor cortex. *Lancet* 1985;1:1106-1107.
11. 최재철, 박민규, 박건우, 이대회. 파킨슨병 환자에서 경두개 자기자극. *대한신경과학회지* 1999;17:352-358.
12. Stephan KM, Frackowiak RS. Motor imagery--anatomical representation and electrophysiological characteristics. *Neurochem Res* 1996;21:1105-1116.
13. Tanaka R. Reciprocal Ia inhibition and voluntary movements in man. *Prog Brain Res* 1976;44:291-302.
14. Hongo T, Jankowska E, Lundberg A. The rubrospinal tract. II. Facilitation of interneuronal transmission in reflex paths on motoneurons. *Exp Brain Res* 1969;7:365-391.
15. Jankowska E, Padel Y, Tanka R. Disynaptic inhibition of spinal motoneurons from the motor cortex in the monkey. *J Physiol* 1976;258:467-487.

16. Shindo M, Harayama H, Kondo K, Yanagisawa N, Tanaka R. Changes in reciprocal Ia inhibition during voluntary contraction in man. *Exp Brain Res* 1984;53:400-408.

17. Lemon RN, Mantel GW, Muir RB. Corticospinal facilitation of hand muscles during voluntary movement in the conscious monkey. *J Physiol* 1986;381:497-527.

## **ABSTRACT**

### **The Effect of Motor imagination on the excitability of the corticospinal system and reciprocal inhibition**

**Hyunduk Yang**

*Medical Science*

*The Graduate School, Yonsei University*

(Directed by Professor Sung Soo Lee)

Objective: It is well known that motor evoked potentials(MEP's) elicited by transcranial magnetic stimulations(TMS's) of the motor cortex are facilitated by voluntary muscle contraction. We evaluated the effects of the imagination of the movements on MEP latencies and reciprocal inhibition. In these studies, we investigated reciprocal inhibition during thinking about movement by using TMS.

Methods: Twenty two healthy volunteers (eight men and fourteen women) were studied. TMS's were delivered at rest and during imagining abducting or adducting right thumb. A stimulator with a round coil and a fixed intensity of 80% of maximum was used to evoke MEP's. MEP's were evoked by magnetic stimulations over the scalp and cervical spine(C7-T1), and central motor conduction times(CMCT's) were calculated by subtracting the latency of compound muscle action potentials (CMAP's) obtained by stimulation over the cervical spine from that obtained by stimulation over the scalp. MEP's were recorded from right abductor pollicis brevis muscle(APB) and adductor pollicis muscle(AP)

simultaneously.

Results: Imagination of abduction resulted in a shortened latency of the CMAP's in APB muscle, and a prolonged latency in AP muscle. Imagination of adduction resulted in a shortened latency in AP muscle, and a prolonged latency in APB muscle. But the imagination caused no significant change in the latency of CMAP's elicited by stimulation over cervical spine. Therefore, the changes of the CMCT's account for these latency changes with imagination of movement. With the imagination of abduction, there are significant reduction of the CMCT's in APB muscle(10.8%) and prolongation in AP muscle(5.8%). On the other hand, with the imagination of adduction, prolongation of the CMCT's in APB muscle(7.3%) and reduction in AP muscle(5.9%) were observed.

Conclusion: These findings indicate that imagination of movement increases the excitability of the human corticospinal system. Imagination-induced increase in excitability within the central nervous system may account for facilitation, and reciprocal inhibition may be accountable for the prolonged latency in the antagonist muscle.

---

Key Words: Motor imagination, Reciprocal inhibition, Corticospinal excitability, Transcranial magnetic stimulation, Central motor conduction time