

# 경두개직류전류자극이 시열반응과제에 대한 운동 수행 능력에 미치는 영향



The Journal Korean Society of Physical Therapy

- 김중선, 남석현<sup>1</sup>, 조인술<sup>1</sup>
- 대구대학교 재활과학대학 물리치료학과, <sup>1</sup>대구대학교 대학원 재활과학과

The Effects of Transcranial Direct Current Stimulation in Motor Performance of Serial Reaction Time Task

Chung-Sun Kim, PT, PhD; Seok-Hyun Nam, PT<sup>1</sup>; In-Sul Cho, PhD<sup>1</sup>

Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation, Daegu University; <sup>1</sup>Department of Rehabilitation Science, Graduate School, Daegu University

**Purpose:** The aim of this study is to investigate whether motor cortex excitability by transcranial direct current stimulation (tDCS) over primary motor cortex (M1) affects motor performance of serial reaction task.

**Methods:** Cathodal, anodal and sham tDCS (1 mA) are applied over right M1 of 24 subjects for 30 minutes including 11minutes for task period time. We applied two electrodes at the same position to both an experimental group and a sham-controlled group, and we made 2 groups recognize to be applied of stimulation. Flexion, extension of wrist and thumb flexion are carried out following colors of arrows on the monitor. Serial reaction time task was applied to confirm the difference of the reaction time between 2 groups.

**Results:** Reaction time is decreased in both tDCS-group and Sham-controlled tDCS group, and the degree of reduction is much greater in the post-test than pre-test. Reduction of reaction time between groups is statistically significant.

**Conclusion:** We consider that anodal tDCS increased the cortical excitability of the underlying motor cortex and it can be helpful to modulate motor performance. It seems that tDCS is an effective modality to modulate brain function, and it will be great help to mediate strategy for the brain injury patients.

**Keywords:** tDCS, Motor learning, Serial reaction time task

논문접수일: 2010년 5월 31일

수정접수일: 2010년 8월 23일

게재승인일: 2010년 9월 24일

교신저자: 조인술, chois@ync.ac.kr

## 1. 서론

운동학습은 특정한 동작이나 과제를 반복된 많은 연습을 통하여 비교적 영속적으로 운동 수행의 기술을 습득하고 보존하는 능력의 변화로 숙련된 수행에 필요한 능력을 지속적으로 변화시키는 연습과 경험의 과정이며, 운동수행력은 운동학습의 한 단계로 연습기간 동안 일시적으로 숙련도가 향상되는 것을 의미한다.<sup>1,2</sup> 이러한 운동학습을 위한 운동수행능력은 일차운동영역(primary motor area, M1), 전운동영역(premotor area, PM), 보완운동영역(supplementary motor area, SMA), 소뇌(cerebellum) 등의 신경 활동의 변화를 통하여 이루어지며, 뇌 손상 환자의 손상영역 뇌 피질

활성화를 증가시키기 위해 많은 연구들이 진행되어 왔다.<sup>3</sup>

운동학습을 촉진하기 위한 효과적인 방법으로 움직임 형태에 대한 수정의 제안, 구두지시, 신체적 유도나 오류에 관한 피드백 제공 등이 있으며, 이들의 형태와 빈도에 따른 효과에 관한 연구들이 다양하게 진행되어 왔다. 최근 운동학습과 운동수행력 향상을 위해 운동수행과 관련된 뇌의 피질을 활성화시키는 방법으로 비침습적 신경자극인 경두개직류전류자극(transcranial direct current stimulation, tDCS)과 경두부자기자극(transcranial magnetic stimulation, TMS) 등이 사용되고 있으며, 이러한 자극은 특정 신경구조의 기능을 조절하고, 뇌의 가소성을 유발시키는 것으로 알려져 있다.<sup>4,5</sup> 이 중 경두개직류전류자극은 자극의 강도가

약하여 환자의 통증 없이 안전하게 반복적으로 사용할 수 있어 많이 이용되고 있다.<sup>6</sup> 경두개직류전류자극은 대뇌피질의 흥분성을 증가시키는 양극과 대뇌피질의 흥분성을 감소시키는 음극, 두 개의 전극을 두피에 직접 부착하여 대뇌피질에 자극을 주어 신경원 안정막의 전위를 조절하여 방전율을 변경시키고 NMDA (*N*-methyl-D-aspartic acid) 수용기의 활성화 변화를 일으켜 대뇌피질에서의 활성도를 증가시킨다.<sup>7,8</sup>

이런 경두개직류전류자극의 신경학적 효과는 정신적 또는 신경학적 손상 환자에서 인지력과 행동기능의 향상을 가져오며 많은 연구를 통하여 경두개직류전류자극이 운동기능의 향상, 운동피질 영역의 활성화, 시각적 정보에 따른 운동 협응, 일상생활에서의 기능적 회복의 효과를 가져온다고 하였다.<sup>7,9</sup> Nitsche 등<sup>10</sup>과 Paulus<sup>11</sup>는 정상 성인의 일차운동영역에 양극을 부착하고 1mA의 직류 전류를 5분간 가해준 후에 운동유발전위가 의미 있게 증가하였다고 보고하였으며, Jang 등<sup>3</sup>은 기능적자기공명영상(functional magnetic resonance imaging, fMRI)을 이용한 일차운동영역에 경두개직류전류자극을 주었을 때, 일차감각운동영역(primary sensorymotor area, SM1)과 양쪽 보완운동영역에서 활성도가 증가한다고 보고하였다.

이처럼 경두개직류전류자극은 운동학습과 운동수행을 담당하는 대뇌피질 영역에 영향을 주는 것으로 알려져 있으며, 운동학습의 효과를 증명하는 방법으로는 과제지향적운동(task-oriented movement), 추적과제(tracking task), 시열 반응 과제(serial reaction time task)등 다양한 방법 등이 사용되고 있다.<sup>1</sup> 이 중 시열 반응과제는 운동의 시작과 끝이 구분되지만, 연속적인 수행을 통하여 전체적으로는 분리되지 않은 것처럼 보이게 하는 방법으로 대상자에게 어떠한 자극을 제시하고, 그 자극에 대한 미리 명령된 운동반응을 검사하여 처음 주어진 자극에서부터 운동반응까지의 운동수행의 시간을 측정 비교하는 방법으로 운동학습이나 운동수행력의 향상과 감소를 판단하기 좋은 방법이다.

경두개직류전류자극이 대뇌피질 흥분성에 영향을 주는 근거는 많이 연구되고 있으나 시열 반응 과제에 대한 운동수행 능력에 미치는 영향에 대하여 정량적으로 보여주는 선행 연구는 좀 더 필요하다. 따라서 본 연구의 연구목적은 시열 반응 과제를 시행함에 있어 비우세 대뇌반구에 경두개직류전류자극이 주어진 것과 허위자극이 주어졌을 때의 차이를 비교하여, 경두개

직류전류자극이 운동수행에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

본 연구에서는 이전의 뇌손상 경험이 없고, 시지각에 문제가 없는 정상성인으로 우성손의 판별 검사인 Edinburg Handedness Inventory<sup>12</sup>에서 오른손잡이로 판명된 대상자만 실험에 참여하였다. 대상자는 총 24(남: 15, 여: 9)명이 참여하였으며, 대상자들은 무작위 추출법에 의해 실험군(tDCS group)과 허위 - 대조군(Sham-controlled tDCS group)으로 나누었고, 연구 과제의 수행정도에 영향을 미치지 않기 위하여 교육 정도가 유사하도록 구성하였으며, 과제 수행은 모두 비우성손인 왼손으로 수행하게 하였다(Table 1). 모든 대상자는 본 연구의 실험방법 등에 대한 충분한 설명을 듣고 자발적인 동의 하에 실험에 참가하였다.

### 2. 실험도구 및 측정 방법

#### 1) 실험도구

##### (1) 경두개직류전류자극

전류의 발생기는 건전지를 이용하여 직류를 발생시키는 NeuroConn GmbH (Ilm enau, 독일)을 사용하였으며, 전류는 식염수를 흡수하는 스펀지 전극 (4×6 cm)을 두피에 부착하여 흐르도록 하였다. 전극의 위치는 양극(+)은 일차운동영역의 오른쪽 중심 전돌기(precentral knob)에 부착하였고, 음극(-)은 왼쪽 안와위 부위(supraorbital area)에 부착 후 스트랩으로 고정하고 일차운동영역을 활성화시켰다. 전극의 위치와 강도는 선행연구에서 입증된 위치에 1 mA의 강도로 11분의 작업수행시간을 포함하여 총 30분 동안 적용하였다. 허위 - 대조군 전극의 위치는 실험군과 동일한 위치에 부착하였고, 경두개직류전류자극은 초반 30초 자극 후 실험자가 알지 못하게 전류를 차단시켰으며, 적응시간 및 과제를 수행하는 동안 이를 알아채지 못하게 하였다.

Table 1. General characteristics of subjects

	tDCS group	Sham-controlled tDCS group
Sex (M/F)	8/4	7/5
Age (years)	23.42±3.63	23.50±3.06
Height (cm)	169.67±6.07	169.25±8.00
Weight (kg)	63.50±8.77	63.08±10.70
Handedness score	90.41±1.93	90.33±1.99

(2) 시열 과제 프로그램

시열 과제는 시각적 자극을 연속적으로 제공하여 주는 프로그램(SuperLab Pro version 2.04, Cedrus, 미국)을 사용하였다. 자극에 대한 운동 수행은 키패드(RB-830, Cedrus, 미국)에 연결된 전자관절측각기의 센서를 통해서 측정하였다. 대상자는 편하게 앉은 자세에서 전방 70 cm 앞에 설치된 모니터를 통하여 시각적 자극을 제공받게 되고, 사전 교육을 통하여 각 자극에 대한 움직임에 교육받았다. 연속적 자극제공 프로그램과 운동 센서를 부착한 전자관절측각기를 통하여 대상자에 대한 자극 시점과 반응 시점에 대한 정보를 측정하였다.

2) 측정방법

대상자는 편안히 앉은 자세에서 왼팔을 전자관절 측각기 위에 자연스럽게 올려놓고, 전자관절 측각기의 핸들 바를 가볍게 잡게 하였으며, 손목의 굴곡, 신전 외의 보상된 움직임을 제한하기 위하여 전완부위를 스트랩으로 고정하였다(Figure 1). 대상자는 눈높이에 있는 컴퓨터 모니터를 응시하도록 하였으며, 시열 반응과제는 프로그램을 통하여 모니터에 서로 다른 여섯 색깔의 화살표 모양이 표시되도록 하였다. 모니터상에 “시작하겠습니다”란 단어가 주어지고 뒤이어 흰 바탕에 여섯 가지 색깔의 화살표 모양이 무작위로 제시되었다. 각 색깔에 대한 운동 반응은 사전 교육을 통하여 인지 시켰으며 각 운동은 다음과 같다. 노랑과 초록은 손목관절의 굴곡, 빨강과 파랑은 손목관절의 신전, 검정 흰색은 엄지손가락의 굴곡을 수행할 수 있도록 하였고, 각 자극간의 시간간격과 지속 시간은 1초 이내에서 무작위로 선정한다. 실험군과 허위 - 대조군의 검사는 1회에 20개의 자극을 제시하였고, 10회 반복하여 총 자극 제시 횟수는 200회로 하였다. 또한 각 그룹에서 운동 수행시간 경과에 따른 운동반응 시간의 변화를 알아보기 위해서 총 200개의 자극 중 3구간으로 나누어 각 구간별 운동반응 시간을 분류하였다.

3. 자료 분석

실험의 결과는 윈도우용 SPSS version 15.0을 이용하여 통계 처리하였다. 두 집단에서 나이, handedness 점수, 경두개직류전류자극

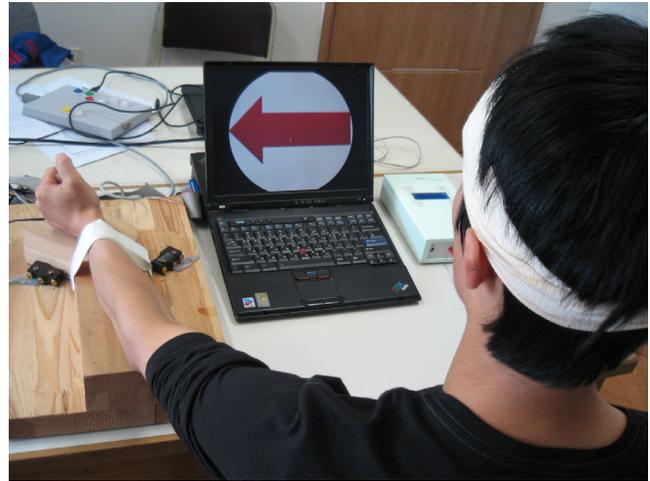


Figure 1. The picture of performing task.

유무에 따른 운동 수행능력을 비교하기 위해 독립 표본 t-검정을 사용하였고, 각 군 간의 운동수행 시간에 따른 운동수행능력의 변화를 알아보기 위해 반복 측정 분산분석(repeated ANOVA)을 사용하였다. 통계적 유의 수준은 0.05로 설정하였다.

III. 결과

대상자의 평균 연령은 실험군(tDCS group) 23.42±3.63, 허위 - 대조군(Sham-controlled tDCS group) 23.50±3.06이었고, Edinburg Handedness Inventory 점수는 실험군 90.41±1.93, 허위 - 대조군 90.33±1.99이었다. 대상자의 연령과 Edinburg Handedness Inventory 점수는 그룹간 유의한 차이가 없었다(Table1).

실험군의 반응시간은 사전검사 시(Pre-test) 950.90±56.32(평균±표준편차), 사후검사 시(Post-test) 865.38±72.09이었고, 변화율은 85.51±45.11이었다. 허위 - 대조군은 사전검사 시 959.08±81.09, 사후검사 시 914.80±77.35이었고, 변화율은 44.28±30.91이었다(Table2)(Figure 2). 실험군과 대조군의 사전검사에서 반응 시간은 통계학적으로 유의한 차이(t=-0.28, p>0.05)는 없었고, 변화율에 대한 집단간 차이는 통계학적으로 유의한 차이(t=2.61,

Table 2. Difference of Reaction time between tDCS-group and sham-controlled tDCS group in pre-test and post-test

	Pre-test	Post-test	Variance (ms)
tDCS group	950.90±56.32	865.38±72.09	85.51±45.11
Sham-controlled tDCS group	959.08±81.09	914.80±77.35	44.28±30.91
t	-0.28		2.61
p	0.77		0.02*

\*p<0.05

$p < 0.05$ )가 있었다(Table 2)(Figure 2). 반복측정 분산분석을 통한 집단 내 효과를 검정한 결과 운동수행 시간에 따른 운동반응 시간의 변화는 통계학적으로 유의한 차이( $F=67.61, p < 0.05$ )가 있는 것으로 나타났고, 집단 간 효과 검정에서도 통계학적으로 유의한 차이( $F=6.82, p < 0.05$ )가 있는 것으로 나타났다. 하지만 집단 간의 상호 작용은 통계학적으로 유의한 차이( $F=1.02, p > 0.05$ )가 없는 것으로 나타났다.

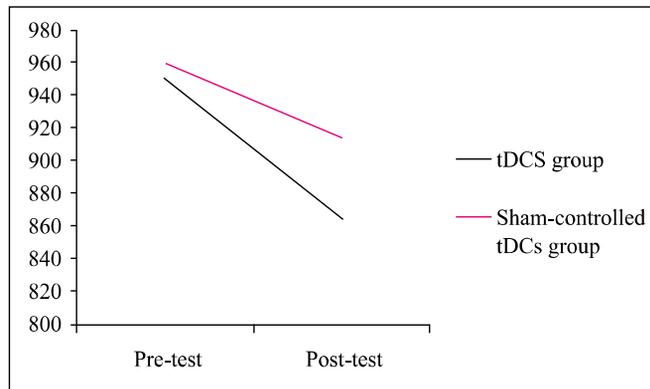


Figure 2. Difference of Reaction time between tDCS-group and sham-controlled tDCS group in pre-test and post-test

#### IV. 고찰

본 연구는 시열 반응과제를 수행함에 있어 일차운동영역에 경두개직류전류자극 시 운동수행력에 미치는 효과를 정량적 방법을 이용하여 입증하고자 하였으며, 뇌손상으로 인해 운동학습 및 운동수행력이 감소된 환자에서의 기능 회복에 대해 경두개직류전류자극이 주는 의의를 찾고자 하였다. 연구 결과 시열 반응과제의 수행에서 경두개직류전류자극을 준 실험군과 허위-대조군 모두 사전검사 보다 사후검사에서 반응속도가 감소 하였으며, 그룹간 반응속도 비교에서 통계학적으로 유의한 결과가 나타났으며, 경두개직류전류자극을 받은 실험군에서 허위-대조군보다 반응시간이 더 많이 감소한 것은 경두개직류전류자극이 운동학습 및 운동수행에 효과가 있음을 보여준다. 그리고 실험군뿐만 아니라 허위-대조군에서도 반응시간이 감소한 것은 반복적인 과제수행이 운동수행력 향상을 유도하였기 때문으로 생각되며, 이것은 무작위로 설계된 시지각 과제의 단순한 반복연습을 통해 반응시간과 정확도에서 향상된 결과의 보고를 통해 알 수 있다.<sup>13</sup> 한편, 과제 수행 시 상대적으로 사용빈도가 적은 비우성인 손을 사용하였는데, 이는 천장 효과(ceiling effect)를 줄이고 우성손보다 비우성손이 운동학습에 따른 효과가 더 크게 나타나기 때문이다.<sup>5</sup>

경두개직류전류자극은 두피에 부착된 두 개의 전극을 통하여 미세한 직류전류가 대뇌피질에 계속적으로 적용시키는 비침습적인 방법으로, 경두개직류전류자극이 대뇌피질의 NMDA 수용기와 나트륨 칼슘 채널의 활성화를 변화시킨다. 그리고 경두개직류전류자극의 효과로 인하여 양극에서는 대뇌피질의 활성도를 증가시키고, 음극에서는 대뇌피질의 활성도를 감소시키는 것으로 알려져 있다.<sup>7,10,11,14</sup>

이러한 경두개직류전류자극을 통해 운동학습 및 운동수행의 효과에 미치는 영향을 증명하려는 행동학적인 측면에서의 선행 연구들과 같은 결과를 보였다. Boggio<sup>5</sup> 등은 정상인을 대상으로 한 연구에서 비우세손 반대측 대뇌반구의 일차운동영역에 1 mA의 양극 직류전류자극 주었을 때, 잼스-테일러 손 기능 검사 수행 시간이 감소한다고 하였다. Park 등<sup>9</sup>은 비우성 뇌반구의 일차운동영역에 경두개직류전류자극을 제공한 그룹과 허위로 제공한 그룹에서의 시지각 과제를 통한 운동수행력의 변화를 알아보는 실험을 실시하였다. 그 결과 그룹간 반응감소의 변화는 통계학적으로 유의하지 않았으나, 그룹 내 전, 후 반응시간은 통계학적으로 유의 하다고 보고 하였다. Hummel 등<sup>15,16</sup>은 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 일차운동영역에 1 mA 강도로 20분간 경두개직류전류자극을 실시한 결과 잼스-테일러 손 기능 검사가 의미 있게 향상되었다고 발표하였으며, 만성기 피질하뇌경색 환자를 대상으로 한 연구에서는 경두개직류전류자극 후 단순 반응 검사(simple reaction test)의 반응 시간이 감소하였으며, 이는 경두개직류전류자극이 운동학습 및 운동수행력의 향상에 의미 있는 영향을 미친다고 보고하였다.

최근에는 경두개직류전류자극에 의한 행동학적인 효과뿐만 아니라, 신경학적 이미징화 기법을 이용하여 운동학습 및 운동수행을 담당하는 대뇌피질에서의 활성도가 어떻게 변화하는지에 대한 연구가 진행되고 있다. Jang 등<sup>3</sup>은 fMRI를 이용하여 손동작으로부터 유래하는 피질 활성화가 일차운동영역에 적용된 경두개직류전류자극에 의해 어떻게 변화하는지에 대한 연구에서, 경두개 직류전류자극을 제공한 실험군에서 왼쪽 일차감각운동피질(SM1)과 양쪽 보완운동영역의 활성도가 증가하였고, 자극 후 오른쪽 전운동영역의 활성도 또한 증가하였다. 하지만 허위-대조군에서는 왼쪽 일차 감각운동피질과 보완운동영역 모두에서 활성도가 감소하였다고 보고하였다. Baudewig 등<sup>17</sup>은 운동영역에 양극의 경두개직류전류자극을 제공하고, 연속적인 손가락 대립운동을 할 때 운동영역의 대뇌피질 활성도가 증가하는 것을 기능적자기공명영상을 이용하여 증명하였다. Lang 등<sup>18</sup>은 왼쪽 편마비, 오른쪽 편마비 환자를 대상으로 모두 대뇌반구의 좌측 일차운동영역에 경두개직류전류의 양극과 음극을 각각 주어 운동유발전위의 변화를 양전자방출 단층촬영(emission tomography)을 이용하여 실험한 결과 뇌손상 위치에 상

관없이 양극의 자극을 받은 대뇌피질에서는 운동유발전위가 증가하였고, 음극의 자극을 받은 대뇌피질에서는 운동유발전위가 감소하였다고 보고하였다. 이러한 연구 결과들은 경두개직류전류자극이 운동학습 및 운동수행력 향상에 효과를 증명하고, 더 나아가 뇌손상 환자의 운동수행의 증가 및 기능적 회복을 위한 효과적인 물리치료적 중재방법이 될 수 있음을 시사한다.

본 연구와 선행 연구에서 알 수 있듯이 경두개직류전류자극이 물리치료에 유용한 방법임이 확인되고 있긴 하지만 경두개직류전류자극과 운동수행능력에 대한 장기적인 효과와 질병에 따른 효과 및 그 효과를 정량적이고 체계적으로 일반화하는 것이 필요하며, 지금의 제한점을 보완한 다양한 연구가 이루어져야 할 것이다. 앞으로 활발한 후속 연구들이 이루어진다면 경두개직류전류자극은 뇌손상 환자의 운동학습 및 운동수행력 향상과 기능적 회복을 위한 유용한 물리치료적 중재방법이 될 것으로 생각된다.

## V. 결론

이 연구는 정상인 남녀 24명을 대상으로 경두개직류전류자극이 시열 과제에 대한 운동 수행력에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. tDCS를 통한 실험에서 실험군이 허위-대조군보다 더 큰 반응시간 감소를 보임으로써 경두개직류전류자극이 운동수행력에 유의한 영향이 있다는 것을 알 수 있었다. 따라서, 본 연구의 결과를 바탕으로 물리치료 영역에서 경두개직류전류자극법이 뇌손상 환자의 운동학습 및 운동수행력의 향상과, 기능적 회복에 유용한 치료법이 될 거라 기대되고, 더 나아가 실제 환자를 대상으로 한 많은 연구와 실험이 시행될 거라 생각된다.

### Author Contributions

Research design: Cho IS

Acquisition of data: Kim CS, Nam SH, Cho IS

Analysis and interpretation of data: Nam SH, Kim CS

Drafting of the manuscript: Cho IS, Nam SH

Research supervision: Kim CS

### 참고문헌

1. Kwon YH, Jang JS, Kim CS. Changes of cortical activation pattern induced by motor learning with serial reaction time task. *J Kor Soc Phys Ther.* 2009;21(1):65-71.
2. Middleton FA, Strick PL. Basal ganglia and cerebellar loops:

- Motor and cognitive circuits. *Brain Res Brain Res Rev.* 2000;31(2-3):236-50.
3. Jang SH, Ahn SH, Byun WM et al. The effect of transcranial direct current stimulation on the cortical activation by motor task in the human brain: An fmri study. *Neurosci Lett.* 2009;460(2):117-20.
4. Alonso-Alonso M, Fregni F, Pascual-Leone A. Brain stimulation in poststroke rehabilitation. *Cerebrovasc Dis.* 2007;24 Suppl 1:157-66.
5. Boggio PS, Castro LO, Savagim EA et al. Enhancement of non-dominant hand motor function by anodal transcranial direct current stimulation. *Neurosci Lett.* 2006;404(1-2):32-6.
6. Fregni F, Boggio PS, Nitsche M et al. Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory. *Exp Brain Res.* 2005;166(1):23-30.
7. Liebetanz D, Nitsche MA, Tergau F et al. Pharmacological approach to the mechanism of transcranial dc-stimulation-induced after-effects of human motor cortex excitability. *Brain.* 2002;125(Pt 10):2238-47.
8. Cerruti C, Schlaug G. Anodal transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex enhances complex verbal associative thought. *J Cogn Neurosci.* 2009;21(10):1980-7.
9. Park RJ, Lee MY, Joe IS et al. The effects of transcranial direct current stimulation in motor performance of visuomotor task. *Journal of Rehabilitation Research.* 2008; 12(3):39-53.
10. Nitsche MA, Doemkes S, Karakose T et al. Shaping the effects of transcranial direct current stimulation of the human motor cortex. *J Neurophysiol.* 2007;97(4):3109-17.
11. Paulus W. Transcranial direct current stimulation (tDCS). *Suppl Clin Neurophysiol.* 2003;56:249-54.
12. Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: The edinburgh inventory. *Neuropsychologia.* 1971;9(1):97-113.
13. Park JW, Jang SH. The difference of cortical activation pattern according to motor learning in dominant and non-dominant hand: An fmri case study. *J Kor Soc Phys Ther.* 2009; 21(1):81-7.
14. Debaere F, Wenderoth N, Sunaert S et al. Changes in brain activation during the acquisition of a new bimanual coordination task. *Neuropsychologia.* 2004;42(7):855-67.
15. Hummel F, Celnik P, Giraux P et al. Effects of non-invasive cortical stimulation on skilled motor function in chronic

- stroke. *Brain*. 2005;128(Pt 3):490-9.
16. Hummel FC, Voller B, Celnik P et al. Effects of brain polarization on reaction times and pinch force in chronic stroke. *BMC Neurosci*. 2006;7:73.
  17. Baudewig J, Nitsche MA, Paulus W et al. Regional modulation of bold mri responses to human sensorimotor activation by transcranial direct current stimulation. *Magn Reson Med*. 2001;45(2):196-201.
  18. Lang N, Nitsche MA, Paulus W et al. Effects of transcranial direct current stimulation over the human motor cortex on corticospinal and transcallosal excitability. *Exp Brain Res*. 2004;156(4):439-43.