

# 작업기억의 향상을 위한 tDCS 자극이 뇌졸중 환자의 뇌파변화에 미치는 영향

## Effect of tDCS Stimulation for Improving Working Memory on Stroke Patients' EEG Variation

배시절\*, 정우식\*\*, 이홍균\*\*\*, 김경윤\*\*\*

씨티병원 재활센터\*, 남평미래병원 재활센터\*\*, 동신대학교 물리치료학과\*\*\*

Si-Jeol Bae(applesijeol@gmail.com)\*, Woo-Sik Jeong(woosikkorea@gmail.com)\*\*,  
Hong-Gyun Lee(leehonggyun@gmail.com)\*\*\*, Kyung-Yoon Kim(redbead7@hanmail.net)\*\*\*

### 요약

본 연구는 작업기억 향상을 위한 직류두개자극(tDCS)이 뇌졸중 환자의 뇌파에 어떠한 변화를 가져오는지 알아보기 위해 시행되었다. MMSE와 숫자 외우기 검사(DST)를 통해 선별된 만성 뇌졸중 환자 20명을 전산화 인지 훈련(CCT)만 실시한 I군(10명)과 tDCS와 CCT를 병행한 II군(10명)으로 무작위 배치하여 주 3회, 1일 30분, 4주간 중재하였다. 뇌파 변화를 알아보기 위해 중재 전, 2주 후, 4주 후 시점에서 뇌전도로 단어, 사진, 암산과제 시 세가지 밴드( $\theta$ : 4~8 Hz, lower  $\alpha$ : 8~10.5 Hz, upper  $\alpha$ : 10.5~13 Hz)로 절대 스펙트럼 파워를 산출하여, 기준뇌파에 대한 증감률(%)을 구하였다. 연구 결과, 첫째, 측정시점에 따라서,  $\theta$  파워는 단어기억과제와 사진기억과제에서 유의한 차이를 보였다. lower  $\alpha$  파워는 모든 기억과제에서 유의한 차이를 보였다. upper  $\alpha$  파워는 암산과제에서만 유의한 차이를 보였다. 둘째, 4주째에서 모든 과제의 lower  $\alpha$  파워에서만 두 군간에 유의한 차이를 보였다. 따라서 본 연구의 과제에 따른 세 가지 밴드의 차이를 통해 작업기억의 정도를 정량화 하여 비교가 가능하며, 뇌손상환자에게 tDCS의 병행이 인지재활에 보조적인 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

■ 중심어 : | 작업기억 | 직류두개자극 | 뇌파 | 뇌졸중 |

### Abstract

This study was conducted so as to examine which change tDCS (Transcranial Direct Current Stimulation) for improving working memory can make on the EEC of stroke patients. Among the patients who suffered for more than 6 months by hemiparalysis caused by stroke, 20 patients selected by MMSE and DST were randomly divided into I group (10 patients) fulfilled by only CCT and II group (10 patients) fulfilled by both tDCS and CCT for total 4 weeks, 30 minutes per a day, three times per a week. For examining EEC variation, the absolute spectrum power was calculated by three bands ( $\theta$ : 4~8 Hz, lower  $\alpha$ : 8~10.5 Hz, upper  $\alpha$ : 10.5~13 Hz) during the task of words, photos and mental calculation with EEC test, before the arbitration, after 2 weeks and after 4 weeks, so the rate of increase and decrease (%) for the reference EEC was obtained. As the results, the first, particular aspects different one another in three bands were detected according to the measuring period and task. The second, in the forth week, there was only a significant difference in lower  $\alpha$ -power of all tasks. Therefore, through the procedure measuring EEC of this study, the degree of working memory's damage can be expressed by numerical value and tDCS should be additionally helpful for brain damaged patients' perception rehabilitation.

■ keyword : | Stroke | EEG | tDCS | Working Memory |

## I. 서론

뇌졸중 후 주의력 및 작업기억의 저하는 기억장애를 야기시키는 주요원인으로 보고됨에 따라 이들 인지작용의 회복이 인지재활의 초점이 되고 있다[1]. 뇌병변 환자는 새로운 정보의 학습이 어려울 뿐만 아니라 기존에 저장되어 있던 정보마저도 잃을 수 있고, 또한 새로운 정보의 입력은 가능하나 기억을 조직화하고, 시간순서대로 배열하고 입력된 정보를 검색하는 데 지장을 받게 된다[2]. 즉 작업기억의 중요한 요소인 정보를 유지하거나 검색 및 인출하는 등의 유연한 조작능력이 저하된다.

인지재활은 크게 도구를 사용하여 치료사와 1:1로 이루어지는 고전적인 인지훈련과 컴퓨터를 이용하는 전산화인지훈련(Computed Cognitive Training: CCT)으로 분류된다[3][4]. CCT는 고전적인 인지훈련에 비해 수행능력의 객관적인 측정, 즉각적인 피드백(feedback)의 제공, 치료수준을 조절할 수 있는 유연성 측면 뿐 아니라 비용대비 효율성(cost-effectiveness)에서도 효과적이라고 보고되었다[1][3][4].

위의 두가지 중재들 모두 효과가 있음이 보고되고 있지만 여전히 치료사들은 임상현장에서 충분한 치료효과를 이끌어내기 위해 적절한 난이도를 설정하는데 어려움을 겪는다. 즉, 과제에 대한 정보의 유지(maintenance) 및 검색, 인출(retrieval)의 어려움으로 인해 난이도를 낮게 설정해야 하거나 과도하게 암시를 제공해야 하는 등의 임상적인 문제에 부딪히게 된다. 최근 대뇌피질의 표적부에 직접적으로 자극을 가하여 피질활성도를 조정하는 비침습적 뇌자극(non-invasive brain stimulation) 방법이 신체와 인지의 재활분야에 효과적인 중재로 소개되고 있다[5][6]. 그 중 경두개직류전류자극(transcranial Direct Current Stimulation: tDCS)과 반복경두개자기자극(repeated Transcranial Magnetic Stimulation: rTMS)장치가 대표적으로 사용된다[5][6]. 학자들은 이런 하향식(top-down) 방법이 뇌병변 환자들에게 보조적으로 훈련과 동시에 적용된다면 한 가지 중재를 했을 때 이끌어낼 수 있는 수준보다 더 큰 효과를 낼 수 있을 것으로 기대하였다[7][8].

특히 tDCS는 휴대성이 뛰어나고 안전하며 여타 장치에 비해 경제적이므로[8], 연구 또는 임상적인 치료를 목적으로 사용이 용이하다.

Freni 등[9]은 일반인을 대상으로 한 연구에서 1차 운동영역의 양극 tDCS 자극이 배외측 전전두 영역의 피질 흥분성과 작업기억력을 증가시켰다고 보고하였고, Kang 등[10]은 뇌졸중 환자를 대상으로 전전두 영역에 양극을 통전시켜 주의력 과제인 Go/No-Go 검사를 시행하였더니 정확도와 반응시간에서 부착전보다 유의한 향상을 보였고, tDCS가 인지 또는 운동의 재활동안 주의력을 증진시키기 위한 잠재적인 도구로 사용할 수 있을 것이라 하였다.

한편, 많은 신경심리학적 뇌파(electroencephalogram: EEG) 연구들에서 과제 수행과 EEG 밴드간의 상호관련 조사를 통해 작업기억과 장기기억의 구분, 그리고 작업기억의 성분들을 지지하는 결과들이 보고되고 있다[11-13]. van der Hiele 등[13]은 EEG 파워와 전반적인 인지능력, 기억, 언어, 실행기능 간의 상관성에 대한 연구를 하였는데 상대(relative) theta 파워의 증가는 모든 항목에서 수행의 감소와 상관성이 있었고, alpha 재활성(reactivity)의 감소는 전반적인 인지, 기억과 실행기능의 수행 감소와 상관성이 있음을 보고하였다. 각 뇌파의 밴드별로 theta power( $\theta$ -power; 약 4~7 Hz)는 새로운 정보의 부호화와 일화기억(episodic memory)을 반영하고, lower alpha power(lower  $\alpha$ -power; 약 7~10.5 Hz)는 주의력을, upper alpha power(upper  $\alpha$ -power; 약 10.5~13 Hz)는 장기기억과 연관된 의미기억(semantic memory)을 반영한다고 보고되었다[11][12]. 특히 theta 동기화(synchronization)와 alpha 비동기화(desynchronization)의 변화양상과 증감량의 측정을 통해 휴식상태의 밴드파워와 비교하여 과제 수행정도를 반영할 수 있음을 언급하였다[11]. 이런 연구들은 인지활동 시 대뇌의 신경생리학적 과정을 EEG를 통해 반영할 수 있음을 보여주고 있다.

현재까지 대부분의 인지재활 연구는 중재들을 단순히 임상적인 평가도구만을 사용하여 효과를 입증하는데 그쳤고, 대뇌의 신경생리학적 작용을 비교·분석해 내지 못하는 한계를 갖고 있다. 따라서 본 연구는 뇌

졸중 환자를 대상으로 CCT 시 tDCS의 적용이 작업기  
역에 어떠한 영향을 미치는지 정량화된 뇌파의 측정과  
임상적 평가도구를 사용하여 알아보려고 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구설계

본 연구는 전산화인지훈련 시 전전두피질에 tDCS를  
자극하여 중재 후 뇌파의 변화에 미치는 영향을 알아보  
기 위해 실시하였다. MMSE와 DST로 선별검사를 실  
시하여 총 20명의 환자를 대상으로 선정하였으며, 10명  
씩 두 군으로 무작위 배치하였다. I 그룹은 CCT만 적용  
하였으며, II 그룹은 CCT와 tDCS를 병행하였다. 두 그  
룹 모두 1회 30분, 주 3회, 4주 동안 훈련을 실시하였고,  
시점에 따른 비교를 위해 중재 전, 2주 후, 4주 후에 측  
정하였다.

### 2. 연구대상

본 연구는 뇌졸중으로 진단받은 환자를 대상으로 실  
시하였다. 연구 대상자는 뇌졸중으로 진단 받은 지 6개  
월이 경과한 자, MMSE 점수가 18~23점에 해당하는  
자[14], DST 점수가 9점 이하인 자[15], 별도의 인지훈  
련을 받고 있지 않은 자, 두개골이 결손되어 있거나 심  
장이나 머리에 의료 장치가 삽입되어 있지 않은 자, 간  
질발작의 병력이 없는 자, 시각 장애가 없고 의사소통  
이 가능한 자로 하였다.

본 연구의 참여 대상자는 총 20명으로, 전산화 인지  
훈련 I 군 10명과 전산화 인지 훈련과 tDCS 자극을 동  
시에 받은 II 군 10명이었다. I 군의 평균나이는  
61.45±5.59 세였고, 교육기간은 8.56±2.62 년이었으며,  
유병기간은 13.55±7.43 개월이었다. MMSE 점수는 평  
균 21.54±1.54 점이었으며, DST는 6.14±4.34 점이었다. II  
군의 평균 나이는 67.72±8.92 세였고, 교육기간은 평균  
8.20±3.18 년이었으며, 유병기간은 13.39±6.64 개월이었  
다. MMSE 점수는 평균 21.22±1.31 점이었으며, DST는  
6.71±2.56 점이었다. 두 집단의 특성을 비교한 결과 집  
단 간의 유의한 차이가 없어 동일한 것으로 나타났다

[표 1].

표 1. 대상자의 일반적 특성

|              | I군(n=10)     | II군(n=10)    | t/X <sup>2</sup> | p    |
|--------------|--------------|--------------|------------------|------|
| 나이(년)        | 61.45±5.59   | 62.72±8.92   | .828             | .424 |
| 교육기간<br>(년)  | 8.56±2.62    | 8.20±3.18    | -.444            | .665 |
| 유병기간<br>(개월) | 13.55±7.43   | 13.39±6.64   | .069             | .286 |
| MMSE<br>(점)  | 21.54±1.54   | 21.22±1.31   | .146             | .886 |
| DST(점)       | 6.14±4.34    | 6.71±2.56    | -.300            | .769 |
| 마비부위         | 좌측:4<br>우측:6 | 좌측:7<br>우측:3 | .833             | .650 |
| 병인           | 출혈:3<br>경색:7 | 출혈:5<br>경색:5 | 1.818            | .370 |

Values are showed mean±SD

### 3. 연구도구

#### 3.1 중재도구

##### 3.1.1 전산화 인지 훈련(Computerized Cognitive Training: CCT)

CCT 프로그램은 독일의 Marker에 의해 제작된  
COGPACK(Marker Software, Version 8.2, Germany)  
을 사용하였다[16]. 이 프로그램은 각성도 및 주의력,  
감각 및 협응, 지각 및 시공간 능력, 인지 반응속도, 기  
역력, 전두엽 및 고위인지, 언어능력, 특수능력의 8개  
항목으로 나누어져 있어 선택적으로 훈련이 가능하다  
[17]. 적용 방법은 단순한 주의 기능을 요구하는 과제에  
서 복잡한 과제 순서로 진행하였다.

##### 3.1.2 경두개직류전류자극(Transcranial Direct Current Stimulator: tDCS)

본 연구는 CCT 시 작업기억 증추의 활성도를 증강시  
키기 위하여 직류전류자극기(Phoresor II Auto Model  
PM850, IOMED, USA)를 사용하였고, 두피에 부착을  
위해 5×7 cm<sup>2</sup>의 스폰지로 된 전극을 사용하였다.  
International 10-20 system에 따라 양극은 대뇌반구의  
배외측 전전두피질 영역인 F3에 부착하였고, 음극은 우  
측 안와상부에 부착하였다[그림1][9][18]. 강도는 1 mA  
로 통전시간은 20분으로 설정하였다[19][20].



그림 1. CCT 중재 시 tDCS 자극 모습

### 3.2 측정도구

#### 3.2.1 뇌파측정(Electroencephalogram: EEG)

EEG의 측정은 QEEG-8(LXE5208, Laxtha Inc, Korea)를 사용하여 국제 10/20 시스템에 근거하여 Fp1, Fp2, F3, F4, P3, P4, O1, O2에 전극을 부착하였고, 기준 전극을 양쪽 귀 뒤쪽에 부착하였다. 각각 4~8초 길이로 편집한 데이터의 고속 푸리에 변환(fast fourier translation)과 theta oscillation(4~8 Hz)과 lower alpha oscillation(8~10.5 Hz), upper alpha oscillation(10.5~13 Hz)의 빈도로 밴드파워 스펙트럼을 산출하기 위해 뇌파 분석 소프트웨어인 Telescan 3.03(Laxtha, Korea)을 사용하였다. 편향된 분포를 정상화시키기 위해 로그변환을 한 후, 눈을 감았을 때 수집한 절대 밴드파워 값(기준뇌파)에 대한 감소 또는 증가량을 구하기 위해 선행 논문에서 사용된 [그림 2]의 공식을 사용하여 계산하였다[21]. 또한 각 과제별로 군 간의 absolute lower  $\alpha$ -power값을 뇌지도화(brain mapping) 하였다.

$$\left( \frac{\text{기억과제 시 절대파워} - \text{기준뇌파 시 절대파워}}{\text{기준뇌파 시 절대파워}} \right) \times 100 = \text{절대파워 증감률(\%)}$$

그림 2. 뇌파 데이터 계산 과정

작업기억 활동 동안의 뇌파데이터를 수집하기 위해 van der Hiele 등[21]의 연구에서 쓰인 단어와 사진기억

패러다임과 Nunez-Penal[22]의 연구에서 쓰인 암산과제 방법을 본 연구에 맞게 수정하여 사용하였다.

첫째, 대상자들은 스크린에 연속으로 제시되는 10개의 물체의 이름으로 구성된 단어를 단어 당 3초씩 보게 하였다. 검사자는 그것들을 소리내어 읽고 기억하도록 지시하였고, 제시가 끝난 후 눈을 감도록 하여 보유 기간으로써 15초 동안 단어들을 떠올리도록 하였다. 과제는 세 차례 수행되었으며 각 보유기간으로부터 4~8초 길이의 EEG 샘플이 선택되었다.

두 번째로, 사진기억과제는 단어기억과제와 동일한 방식으로 일반 물체 사진들을 사용하였다.

마지막으로, 암산과제는 세 번의 예비문제를 주어 개인의 수준을 파악하고, 세 가지 문제를 풀도록 하였다. 대상자는 눈을 감도록 하고 검사자가 제시한 문제를 듣기 시작한 시점부터 답을 말하기 전까지의 신호를 수집하였다[그림 3].

기준뇌파와 세 가지 과제 조건들에서 수행점수가 높았을 때의 4~8초 길이 샘플이 각각 3개씩 선택되었고 분석을 위해 변환된 절대 밴드파워 값을 평균화시켰다.

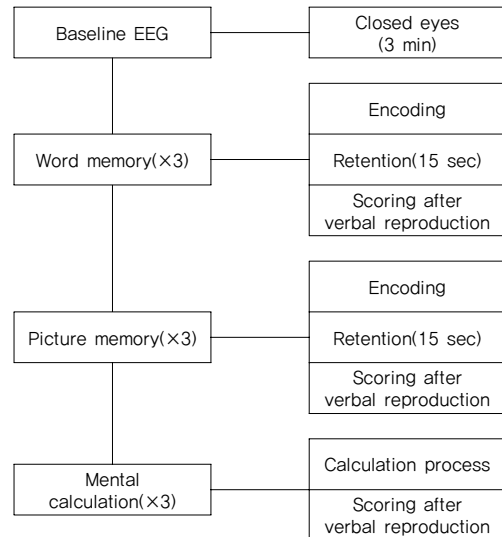


그림 3. 뇌파 측정 절차

#### 3.2.2 작업기억 수행능력 검사

작업기억의 수행정도를 시점에 따라 비교하기 위해

뇌파측정용 기억과제의 점수와 숫자외우기 검사(Digit Span Test: DST)를 사용하였다.

암산과제를 제외하고 단어와 사진기억과제에서 뇌파의 측정 직후 기억하고 있는 단어들을 가능한 한 많이 말하도록 하였고, 10개의 단어들을 세 번 측정하여 총 30점을 만점으로 하였다.

DST는 주의집중(attention and concentration)과 작업기억의 평가도구로써 즉각적 숫자 회상력(immediate digit recall)의 폭(span)을 측정한다[23][24]. 검사항목은 바로 따라 외우기(forward span test)와 거꾸로 따라 외우기(backward span test)의 두 항목으로 구성되어 있는데 개별적으로 실시하여 점수를 기록한다. 두 항목의 점수를 합쳐 최고득점은 28점으로 각 문항에 대해 2, 1 또는 0점을 준다[25].

### 3. 통계방법

본 연구의 자료는 SPSS 17.0 ver. for windows<sup>®</sup>를 사용하여 평균 및 표준편차를 산출하였다. 각 측정 항목에 대한 정규성 검정을 위해 Shapiro-Wilk test를 실시한 결과 모든 항목에서 정규분포 하는 것으로 나타났다. 대상자의 특성에 대한 동질성 검정은 Chi-square test, Fisher's exact test, Independent t-test를 실시하였다. 각 중재방법에 따른 세 시점에 대한 유의성 검정을 위해 Repeated measures ANOVA를 시행하였고, 중재방법간의 차이를 비교하기 위해 각 군간에 Independent t-test를 실시하였다. 모든 통계학적 유의 수준  $\alpha$ 는 .05로 하였다.

## III. 연구결과

### 1. 단어기억과제 시 뇌파의 증감률 비교

단어기억과제 시  $\Theta$ -power의 증감률에서 집단과 시점에 따른 교호작용이 없었고, 집단에 따라 유의한 차이를 보이지 못했지만, 시점에 따라 유의한 차이를 보였다( $p < .000$ ). 군 간 비교에서는 모든 측정시기에서 유의한 차이가 없었다. lower  $\alpha$ -power의 증감률에서는 집단에 따라 유의한 차이를 보이지 못했지만, 집단과

시점에 따른 교호작용에서 유의한 차이를 보였고( $p < .05$ ), 시점에 따라 유의한 차이를 보였다( $p < .000$ ). 군 간 비교에서는 4주째( $p < .05$ )에서 두 군 간에 유의한 차이를 보였다. upper  $\alpha$ -power의 증감률에서는 교호작용에서 유의한 차이를 보이지 못했고, 집단과 시점에서도 유의한 차이를 보이지 못했다. 군 간 비교에서는 모든 시점에서 유의한 차이를 보이지 못했다[표 2].

### 2. 사진기억과제 시 뇌파의 증감률 비교

사진기억과제 시  $\Theta$ -power의 증감률에서 집단에 따라 유의한 차이를 보이지 못했지만, 집단과 시점에 따른 교호작용에서 유의한 차이를 보였고( $p < .01$ ), 시점에 따라 유의한 차이를 보였다( $p < .000$ ). 군 간 비교에서는 모든 측정시기에서 유의한 차이가 없었다. lower  $\alpha$ -power의 증감률에서는 집단과 시점에 따른 교호작용에서 유의한 차이를 보이지 못했고 집단에 따라 유의한 차이를 보이지 못했지만, 시점에 따라 유의한 차이를 보였다( $p < .000$ ). 군 간 비교에서는 4주째( $p < .05$ )에서 두 군 간에 유의한 차이를 보였다. upper  $\alpha$ -power의 증감률에서는 교호작용에서 유의한 차이를 보이지 못했고, 집단과 시점에서도 유의한 차이를 보이지 못했다. 군 간 비교에서는 모든 시점에서 유의한 차이를 보이지 못했다[표 3].

### 3. 암산과제 시 뇌파의 증감률 비교

암산과제 시  $\Theta$ -power의 증감률에서 교호작용에서 유의한 차이를 보이지 못했고, 집단과 시점에서도 유의한 차이를 보이지 못했다. 군 간 비교에서는 모든 시점에서 유의한 차이를 보이지 못했다. lower  $\alpha$ -power의 증감률에서는 집단과 시점에 따른 교호작용에서 유의한 차이를 보이지 못했고 집단에 따라 유의한 차이를 보이지 못했지만, 시점에 따라 유의한 차이를 보였다( $p < .000$ ). 군 간 비교에서는 4주째( $p < .05$ )에서 두 군 간에 유의한 차이를 보였다. upper  $\alpha$ -power의 증감률에서는 교호작용에서 유의한 차이를 보이지 못했고 집단에서도 유의한 차이를 보이지 못했지만, 시점에 따라 유의한 차이를 보였다( $p < .000$ ). 군 간 비교에서는 모든 시점에서 유의한 차이를 보이지 못했다[표 4].

표 2. 단어기억과제 시 뇌파의 증감률 비교

|                            | Group   | Pre       | 2 weeks    | 4 weeks     | Source      | F     | p      |         |
|----------------------------|---------|-----------|------------|-------------|-------------|-------|--------|---------|
| 단<br>어<br>기<br>억<br>과<br>제 | θ       | I (n=10)  | 7.22±1.63  | 10.47±2.08  | 14.88±2.28  | Group | .324   | .580    |
|                            |         | II (n=10) | 3.80±0.66  | 10.21±2.3   | 14.65±1.22  | Time  | 41.023 | .000*** |
|                            |         | t         | 1.938      | .066        | .089        | G×T   | 1.637  | .222    |
|                            | Lower-α | I (n=10)  | -6.94±2.47 | -9.50±2.20  | -14.63±1.57 | Group | 3.529  | .085    |
|                            |         | II (n=10) | -6.39±2.17 | -12.08±2.07 | -23.17±2.69 | Time  | 30.900 | .000*** |
|                            |         | t         | -.168      | .853        | 2.763       | G×T   | 4.239  | .048*   |
|                            | Upper-α | I (n=10)  | 3.77±4.7   | 5.98±3.48   | 6.84±5.29   | Group | .295   | .597    |
|                            |         | II (n=10) | 3.18±3.51  | 2.98±3.47   | -2.42±4.05  | Time  | .353   | .710    |
|                            |         | t         | .101       | -.203       | 1.391       | G×T   | 2.712  | .110    |
|                            | p       | .921      | .842       | .189        |             |       |        |         |

Values are showed mean±SD

I: Computerized Cognitive Training(CCT), II: CCT+ Transcranial Direct Current Stimulation(tDCS)

\*: p<0.05, \*\*: p<0.01, \*\*\*: p<0.001.

표 3. 사진기억과제 시 뇌파의 증감률 비교

|                            | Group   | Pre       | 2 weeks    | 4 weeks     | Source      | F     | p      |         |
|----------------------------|---------|-----------|------------|-------------|-------------|-------|--------|---------|
| 사<br>진<br>기<br>억<br>과<br>제 | θ       | I (n=10)  | 6.98±2.02  | 10.67±1.95  | 12.69±2.13  | Group | .864   | .371    |
|                            |         | II (n=10) | 3.33±0.79  | 7.34±1.29   | 13.44±1.41  | Time  | 68.282 | .000*** |
|                            |         | t         | 1.678      | 1.417       | -.293       | G×T   | 6.539  | .008**  |
|                            | Lower-α | I (n=10)  | -6.13±1.36 | -10.1±1.85  | -14.67±1.95 | Group | 2.939  | .112    |
|                            |         | II (n=10) | -5.74±2.56 | -13.46±1.74 | -21.98±1.99 | Time  | 28.827 | .000*** |
|                            |         | t         | -.137      | 1.324       | 2.621       | G×T   | 2.790  | .101    |
|                            | Upper-α | I (n=10)  | 6.35±3.81  | 5.12±2.9    | 4.34±4.96   | Group | 2.063  | .176    |
|                            |         | II (n=10) | -0.57±1.94 | 1.1±2.34    | -2.67±2.36  | Time  | 1.215  | .311    |
|                            |         | t         | 1.619      | 1.075       | 1.276       | G×T   | .566   | .550    |
|                            | p       | .14       | 0.303      | .226        |             |       |        |         |

Values are showed mean±SD

I: Computerized Cognitive Training(CCT), II: CCT+ Transcranial Direct Current Stimulation(tDCS)

\*: p<0.05, \*\*: p<0.01, \*\*\*: p<0.001.

표 4. 암산과제 시 뇌파의 증감률 비교

|                  | Group   | Pre       | 2 weeks    | 4 weeks     | Source      | F     | p      |         |
|------------------|---------|-----------|------------|-------------|-------------|-------|--------|---------|
| 암<br>산<br>과<br>제 | θ       | I (n=10)  | 8.27±2.21  | 11.37±1.22  | 11.59±1.23  | Group | .251   | .625    |
|                  |         | II (n=10) | 8.18±1.3   | 9.95±1.01   | 11.01±1     | Time  | 3.606  | .052    |
|                  |         | t         | .034       | .885        | .734        | G×T   | .156   | .825    |
|                  | Lower-α | I (n=10)  | -3.64±0.62 | -7.23±0.64  | -11.24±1.13 | Group | 4.395  | .058    |
|                  |         | II (n=10) | -5.35±2.08 | -12.5±2.16  | -17.17±2.17 | Time  | 58.434 | .000*** |
|                  |         | t         | .783       | 2.331       | 2.418       | G×T   | 3.178  | .081    |
|                  | Upper-α | I (n=10)  | -7.73±1.18 | -10.02±1.67 | -11.98±1.32 | Group | .119   | .736    |
|                  |         | II (n=10) | -4.59±1.22 | -8.75±1.69  | -14.74±1.82 | Time  | 17.266 | .000*** |
|                  |         | t         | -1.844     | -.534       | 1.223       | G×T   | 3.021  | .076    |
|                  | p       | .09       | .603       | .245        |             |       |        |         |

Values are showed mean±SD

I: Computerized Cognitive Training(CCT), II: CCT+ Transcranial Direct Current Stimulation(tDCS)

\*: p<0.05, \*\*: p<0.01, \*\*\*: p<0.001.

표 5. 작업기억 수행능력의 비교

|      |          | Group     | Pre        | 2 weeks    | 4 weeks    | Source | F      | p       |
|------|----------|-----------|------------|------------|------------|--------|--------|---------|
| 작업기억 | 단어 기억 점수 | I (n=10)  | 10.00±2.45 | 13.14±2.55 | 15.14±2.91 | Group  | 1.766  | .209    |
|      |          | II (n=10) | 9.57±3.1   | 13.57±2.57 | 20.29±3.59 | Time   | 58.308 | .000*** |
|      |          | t         | .287       | -.313      | -2.943     | G×T    | 8.321  | .006**  |
|      |          | p         | .779       | .759       | .012*      |        |        |         |
| 수행검사 | 사진 기억 점수 | I (n=10)  | 11.14±4.52 | 15.14±5.46 | 18.29±3.09 | Group  | .688   | .423    |
|      |          | II (n=10) | 11.57±2.51 | 16.00±2.58 | 21.14±1.21 | Time   | 60.692 | .000*** |
|      |          | t         | -.219      | -.375      | -2.274     | G×T    | 1.460  | .254    |
|      |          | p         | .830       | .716       | .042*      |        |        |         |
| DST  | DST      | I (n=10)  | 6.14±4.34  | 6.43±3.15  | 8.00±4.12  | Group  | 1.231  | .289    |
|      |          | II (n=10) | 6.71±2.56  | 7.71±3.35  | 12.29±3.25 | Time   | 83.747 | .000*** |
|      |          | t         | -.3        | -.739      | -2.159     | G×T    | 20.639 | .000*** |
|      |          | p         | .769       | .474       | .049*      |        |        |         |

Values are showed mean±SD

I: Computerized Cognitive Training(CCT), II: CCT+ Transcranial Direct Current Stimulation(tDCS)

\*: p<0.05, \*\*: p<0.01, \*\*\*: p<0.001.

#### 4. 작업기억 수행능력 비교

단어기억 점수에서 집단에 따라서 유의한 차이를 보이지 못했지만, 집단과 시점에 따른 교호작용에서 유의한 차이를 보였고(p<.01), 시점에 따라서 유의한 차이를 보였다(p<.000). 군 간 비교에서는 4주째(p<.05)에서 두 군 간에 유의한 차이를 보였다. 사진기억 점수는 교호작용에서 유의한 차이를 보이지 못했고 집단에 따라서 유의한 차이를 보이지 못했지만, 시점에 따라서 유의한 차이를 보였다(p<.000). 군 간 비교에서는 4주째(p<.05)에서 두 군 간에 유의한 차이를 보였다. DST는 집단에 따라서 유의한 차이를 보이지 못했지만, 집단과 시점에 따른 교호작용에서 유의한 차이를 보였고(p<.000), 시점에 따라서 유의한 차이를 보였다(p<.000). 군 간 비교에서는 4주째(p<.05)에서 두 군 간에 유의한 차이를 보였다[표 5].

#### IV. 고찰

대부분의 중추신경계 손상 환자들은 주의력과 작업기억의 저하를 호소한다. 최근 인지손상환자들의 인지 재활을 위해 CCT가 보편화되고 있는데[3][26], 뇌졸중이나 외상성 뇌손상 같은 중추신경계 손상 환자들

[27-29] 뿐 아니라 알츠하이머병과 같은 신경퇴행성 질환[30][31]과 정신분열증과 같은 정신과적 질환[32]에 대한 효과도 보고하고 있다. 다른 한편, tDCS나 rTMS와 같은 비침습적 장치를 통해 대뇌의 해당 운동 또는 인지영역을 자극하여 기능향상을 위한 보조적인 용도로의 사용가능성을 보고하였다[5][8]. 두 가지 측면의 중재방법들 모두 각각의 효과가 있음이 알려져 있지만 두 가지 중재법들을 결합하여 연구한 시도는 거의 드물다. 또한 대부분의 연구가 단순하게 임상적인 평가도구로만 효과를 입증하려고 하였고 대뇌의 신경생리학적 작용을 데이터로 제시하지 못하였다. 따라서 본 연구는 뇌졸중 환자를 대상으로 정량화된 뇌파의 측정과 임상적 평가도구를 사용하여 알아보았다.

Van der Hiele 등[13]은 단어기억과제, 사진기억과제, 그리고 동물유창성(animal fluency)과제를 사용하여 세 가지 밴드(θ-power, lower α-power, upper α-power)로 경도인지손상(Mild Cognitive Impairment: MCI) 환자와 일반인과의 차이를 연구하였다. 그 결과, 동물유창성과제에서는 차이가 없었지만, 단어와 사진기억과제에서 MCI군이 일반인에 비해 lower α-power의 감소와 과제 수행 점수 간에 유의한 상관성을 나타냄으로써, 단어와 사진과제 패러다임이 작업기억 손상 정도의 검출을 위해 적합함을 입증하였다. 이는 만성 뇌졸중 환

자를 대상으로 한 본 연구의 단어와 사진기억과제에서 lower  $\alpha$ -power가 감소한 결과와 일치한다. 또한 본 연구의  $\Theta$ -power는 단어와 사진기억과제에서 유의하게 증가하였다. 기억과 관련하여  $\Theta$ -power의 증가는 새로운 정보의 부호화[33], lower  $\alpha$ -power의 감소는 주의력[13][34]을 반영한다고 보고되었다. 따라서 단어와 사진기억과제가 뇌졸중 환자에서 보다 부호화와 주의력 측면을 요구시킨 것으로 생각할 수 있다. 그러나 upper  $\alpha$ -power의 변화는 특정한 양상을 보이지 못하였는데, upper  $\alpha$ -power는 의미기억 또는 과제특이적 효과[12]를 반영하기 때문에 뇌파특성이 검출되지 않은 것으로 생각된다.

한편, 본 연구의 암산과제에서는  $\Theta$ -power의 변화양상이 특정한 동향을 보이지 않았고 lower  $\alpha$ -power와 upper  $\alpha$ -power의 변화가 유의하게 감소하였다. 선행연구에서 암산과제를 통해 뇌파를 측정하는 방법 중 알파 집중지수(alpha attenuation coefficient) 검사를 통해 주의력의 생리학적 평가 방법이 될 수 있고[35], 각 밴드별  $\alpha$ -power의 차이를 통해 MCI 환자를 구별해 낼 수 있음이 보고되었다[36]. 이는 암산과제를 통한 뇌파의 측정 또한 주의력을 검출할 수 있음을 시사하고, 본 연구의 결과와 일치한다. 이것은 과제특이적 측면, 즉 암산과제의 인지과정 자체가 upper  $\alpha$ -power에서 반영된 것으로 생각된다. 따라서, 본 연구의 단어와 사진기억과제는 장기기억과 관련된 의미기억의 측면보다는 새로운 정보의 부호화와 주의력을 요구하는 단기기억의 측면이 강조되었고, 암산과제는 새로운 정보의 부호화 측면을 반영하지 못했지만 주의력의 측면이 반영되었을 것이다.

현재까지 대부분의 연구에서 단순히 CCT 만을 중재 방법으로 사용하였지만, 본 연구는 CCT에 tDCS를 추가하여 두 가지를 병행하는 중재방법을 사용하였다. Sclaus와 Rengal[8]에 의하면 재활훈련과 동시에 tDCS로 자극하는 접근법은 말초의 감각운동(sensorimotor) 활성화와 중추의 대뇌자극이 중추 자극을 받고 있는 동시 간대에 대뇌피질로 가는 구심성 정보를 증가시키거나 감소시킴으로써 시냅스 가소성과 운동기술(motor skill)의 습득 및 통합을 향상시킬 수 있다고 언급하였

다. 여기서 시냅스 가소성이란 두 신경간의 신호전달 효율이 외부의 조건에 따라 보다 활발히 일어나거나 혹은 억제되는 현상을 지칭하는데[37], 비침습적 뇌자극 방법의 적용은 신호전달 효율이 증가되어 장기간 유지되는 장기상승작용(long-term potentiation: LTP)과 신호전달 효율이 억제되는 장기하강작용(long-term depression: LTD)과 같은 효과를 유도하였을 것이라고 하였다[6]. 특히 Antal 등[38]의 연구에 따르면 인지과제 시 운동피질에 전극을 부착한 양극 tDCS자극은 LTP 유사반응(LTP-like response)이 감소하였고, 음극 tDCS자극은 LTD 유사반응(LTD-like response)이 감소하였는데, 이런 억제 과정은 tDCS로 유도된 시냅스 가소성이 신경생리학적 프로세스를 방해했을 것이라고 하였다. 즉, tDCS의 양극 또는 음극자극을 통해 대뇌피질에서 신호전달을 증가 또는 감소시켜 시냅스 가소성을 일으킬 수 있다는 것이다. 또한 tDCS의 적용을 통해 신경가소성에 영향을 미치는 단백질 인자를 발현시켜 신경가소성이 더 활발하게 일어날 수 있음이 보고되었다[39].

본 연구에서는 4주 간 각 중재 후 세 가지 기억과제 시 뇌파의 활성도를 측정하였다. 각 과제에서 부호화를 반영하는  $\Theta$ -power와 의미기억을 반영하는 upper  $\alpha$ -power는 두 군간에 통계학적으로 유의한 차이가 나타나지 않았지만, lower  $\alpha$ -power에서 모든 과제 종류에서 4주째에 tDCS 병행 군이 CCT만 시행한 군에 비해 증감량이 유의하게 감소한 것으로 보아, tDCS로 인해 더 큰 뇌활성도의 변화가 있었을 것으로 생각된다. 이 결과는 뇌졸중환자를 대상으로 tDCS의 적용이 주의력 증진에 효과적이라는 결과를 지지한다[10][40][41]. 또한 본 연구에서 작업기억 수행능력 검사결과, DST와 단어 및 사진기억과제 점수에서 두 군간에 통계학적으로 유의한 차이가 나타났다. 이것은 tDCS를 적용하여 작업기억의 향상을 보고한 선행연구들[18][42][43]을 지지하며 작업기억에 대한 훈련효과가 입증된 CCT에 tDCS를 병행한다면 더욱 효과적이고 빠른 향상을 기대할 수 있음을 시사한다.

한편, 본 연구는 국제 10/20 체계에 의해 좌측 DLPFC가 위치한 F3 부위에 tDCS의 양극을 자극하였



다. DLPFC는 다양한 작업기억과 관련된 자극과 과제에서 일관되게 활성을 보여주는[44] 작업기억의 대표적인 중추로 보고되었다. 그러나 본 연구의 뇌지도화 결과에서 단어와 사진과제 시 DLPFC 영역에서 일관된 활성을 보이지 못했다. 이는 lower  $\alpha$ -power가 주의력을 반영하며, 뇌지도상 전제적인 두피에 분포한다 [11][13]는 선행연구의 결과로 설명할 수 있을 것이다. 암산과제에서는 전반적으로 전두엽 영역의 활성이 관찰되었는데 암산과제 시 활성화는 뇌구역이 전전두엽 [45], 좌측 DLPFC와 대뇌 후두부[46] 라는 견해와 일치하는 경향을 보인다. 비록 작업기억의 중추가 DLPFC라고 알려져 있으나, 아무리 단순한 인지과제조차도 뇌의 한 영역에 국한되어 일어나지 않고 다른 부위와 연결되거나, 다른 기능 시 동일 부위가 활성화되기도 하며[47], 뇌파의 공간해상도가 낮아 심부의 지역들을 관찰하기 어렵기 때문에 본 연구의 뇌지도화 결과를 단정 지을 수 없다. 차후 보다 정확한 검출을 위해서는 동시에 여러 부위를 측정할 수 있는 다채널 EEG를 사용하거나 fMRI와 같은 고해상도 장비를 이용한 세밀한 연구가 필요하다.

본 연구는 뇌파의  $\Theta$ -power와 lower  $\alpha$ -power 변화에서 측정시점에 따라서 두 군 모두 특정한 변화양상을 보였고, 특히 lower  $\alpha$ -power의 변화에서 4주째에 두 군 간에 유의한 차이를 보였다. 이는 본 연구의 과제 패러다임과 뇌파 측정절차가 작업기억의 손상을 가진 뇌졸중 환자의 검출에 유용한 생리학적 평가방법으로 사용 가능할 것으로 생각된다. 또한 문헌고찰을 통해, 대뇌피질의 표적 영역에 직접적인 양극 자극을 통한 작업기억의 향상은 인지 훈련 시의 피질활성을 강화시키는 시냅스 가소성으로 인해 LTP가 유도되었을 것이라고 설명할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구의 전산화인지훈련 시 비침습적뇌자극방법인 tDCS의 적용은 작업기억 능력을 향상시키기 위한 효과적이고 안전한 뇌 자극 방법을 확인하였고, 인지기능의 손상을 가지고 있는 뇌졸중 환자에게 인지 기능 회복을 위해 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] B. Zoltan and E. Siev, *Vision, perception, and cognition: a manual for the evaluation and treatment of the neurologically impaired adult*, Slack Incorporated, 1996.
- [2] 노승호, “외상성 뇌 손상 환자의 인지기능장애”, 원광정신의학회지, 제15권, 제2호, pp.15-26, 1999.
- [3] 김훈주, 이성자, 감경운, “컴퓨터-보조 인지재활 프로그램(computer-assisted cognitive rehabilitation)에 관한 고찰”, 치매작업치료학회지, 제2권, 제2호, pp.35-46, 2008.
- [4] 이윤미, *컴퓨터 보조 인지재활훈련과 균형운동이 노인의 인지, 시지각, 손 기능, 균형 및 뇌파에 미치는 효과*, 대구대학교 대학원 박사학위논문, 2011.
- [5] 은석훈, *비침습적 경두개 뇌자극술이 정상인의 인지 기능 향상에 미치는 영향*, 연세대학교 대학원 석사학위논문, 2007.
- [6] M. C. Ridling and U. Ziemann, “Determinants of the induction of cortical plasticity by non-invasive brain stimulation in healthy subjects,” *J of physiology*, Vol.588, No.13, pp.2291-2304, 2010.
- [7] A. Gazzaley, and A. C. Nobre, *Top-down modulation: bridging selective attention and working memory*. Trends in Cognitive Sciences, 2011.
- [8] G. Schlaug, V. Renga, and D. Nair, “Transcranial direct current stimulation in stroke recovery,” *Archives of neurology*, Vol.65, No.12, pp.1571, 2008.
- [9] F. Fregni, P. S. Boggio, M. Nitsche, F. Bermanpohl, A. Antal, E. Feredoes, M. A. Marcolin, S. P. Rigonatti, M. T. A. Silva, and W. Paulus, “Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory,” *Experimental Brain*

- Research, Vol.166, No.1, pp.23-30, 2005.
- [10] E. K. Kang, M. J. Baek, S. Y. Kim, and N. J. Paik, "Non-invasive cortical stimulation improves post-stroke attention decline," *Restorative neurology and neuroscience*, Vol.27, No.6, pp.647-652, 2009.
- [11] W. Klimesch, "EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis," *Brain research reviews*, Vol.29, No.2, pp.169-195, 1999.
- [12] W. Klimesch, M. Doppelmayr, and S. Hanslmayr, "Upper alpha ERD and absolute power: their meaning for memory performance," *Progress in brain research*, Vol.159, pp.151-165, 2006.
- [13] K. Van der Hiele, A. A. Vein, R. Reijntjes, R. G. J. Westendorp, E. Bollen, M. A. van Buchem, J. G. van Dijk, and H. A. M. Middelkoop, "EEG correlates in the spectrum of cognitive decline," *Clinical neurophysiology*, Vol.118, No.9, pp.1931-1939, 2007.
- [14] M. Kramer, *Patterns of mental disorders among the elderly residents of eastern Baltimore*. Journal of the American Geriatrics Society, 1985.
- [15] 강연욱, 진주희, 나덕렬, "숫자 외우기 검사(Digit Span Test)의 노인 기준 연구", *한국심리학회지*, 제21권, 제4호, pp.911-922, 2002.
- [16] M. K. Cogpack, *The Cognitive Training Package Manual. Marker software*: Heidelberg, Ladenburg, 2007.
- [17] K. Marker, *COGPACK, Program Information. Marker software*: Heidelberg & Ladenburg, 2010.
- [18] S. C. Andrews, K. E. Hoy, P. G. Enticott, Z. J. Daskalakis, and P. B. Fitzgerald, "Improving working memory: the effect of combining cognitive activity and anodal transcranial direct current stimulation to the left dorsolateral prefrontal cortex," *Brain stimulation*, Vol.4, No.2, pp.84-89, 2011.
- [19] A. O. Constantinescu, A. Ilie, M. Moldovan, and C. J. Stagg, "Transcranial direct current stimulation (tDCS): a promising new tool to facilitate rehabilitation of manual dexterity after stroke," *Romanian Journal of Neurology*, Vol.9, No.3, pp.118-123, 2010.
- [20] M. B. Iyer, U. Mattu, J. Grafman, M. Lomarev, S. Sato, and E. M. Wassermann, "Safety and cognitive effect of frontal DC brain polarization in healthy individuals," *Neurology*, Vol.64, No.5, pp.872-875, 2005.
- [21] K. van der Hiele, A. A. Vein, C. G. Kramer, R. H. Reijntjes, M. A. van Buchem, R. G. Westendorp, E. L. Bollen, J. G. van Dijk, and H. A. iddelkoop, "Memory activation enhances EEG abnormality in mild cognitive impairment," *Neurobiol Aging*, Vol.28, No.1, pp.85-90, 2007.
- [22] M. I. Nunez-Pena, "Effects of training on the arithmetic problem-size effect: an event-related potential study," *Exp Brain Res*, Vol.190, No.1, pp.105-110, 2008.
- [23] J. Grégoire and M. Van der Linden, "Effect of age on forward and backward digit spans," *Aging neuropsychology, and cognition*, Vol.4, No.2, pp.14-149, 1997.
- [24] J. J. Ryan, S. J. Lopez, and A. M. Paolo, "Digit span performance of persons 75 - 96 years of age: Base rates and associations with selected demographic variables," *Psychological Assessment: Psychological Assessment*, Vol.8, No.3, p.324, 1996.
- [25] 염태호, 박영숙, 오경자, 김정규, 이영호, *한국판 웨슬러 지능검사(K-WAIS)의 실시요강*, 서울: 한국 가이던스, 1992
- [26] 조영남, *전산화 인지재활이 뇌졸중 노인의 인지*

- 기능에 미치는 효과, 대구대학교 대학원 박사학위논문, 2010.
- [27] 심제명, 김환희, 이용석, “전산화 신경인지기능 프로그램(COMCOG, CNT)을 이용한 뇌졸중 환자의 기억력과 주의력 증진효과”, 대한물리치료학회지, 제19권, 제4호, pp.25-32, 2007.
- [28] A. Lundqvist, K. Grundström, K. Samuelsson, and J. Rönnerberg, “Computerized training of working memory in a group of patients suffering from acquired brain injury,” *Brain Injury*, Vol.24, No.10, pp.1173-1183, 2010.
- [29] H. Westerberg, H. Jacobaeus, T. Hirvikoski, P. Clevberger, M. L. Östensson, A. Bartfai, and T. Klingberg, “Computerized working memory training after stroke-A pilot study,” *Brain Injury*, Vol.21, No.1, pp.21-29, 2007.
- [30] 오병훈, 김영기, 김지혜, 신운식, “인지재활훈련이 노인성 치매 환자의 인지 기능에 미치는 영향”, *신경정신의학*, 제42권, 제4호, pp.514-519, 2003.
- [31] M. Hofmann, A. Rösler, W. Schwarz, F. Müller-Spahn, K. Kräuchi, C. Hock, and E. Seifritz, “Interactive computer-training as a therapeutic tool in Alzheimer’s disease,” *Comprehensive psychiatry*, Vol.44, No.3, pp.213-219, 2003.
- [32] S. McGurk, E. Twamley, D. Sitzer, G. McHugo, and K. Mueser, “A meta-analysis of cognitive remediation in schizophrenia,” *American Journal of Psychiatry*, Vol.164, No.12, pp.1791-1802, 2007.
- [33] W. Klimesch, M. Doppelmayr, H. Russegger, and T. Pachinger, “Theta band power in the human scalp EEG and the encoding of new information,” *Neuroreport*, Vol.7, No.7, p.1235, 1996.
- [34] M. I. Posner, *Psychobiology of attention. Handbook of psychobiology*, pp.441-480, 1975.
- [35] T. Tanabe, K. Ikemura, H. Sawai, and E. Koyama, “Preliminary Study of a Physiological Evaluation Method on Attentiveness Concentration during Mental Arithmetic; Correlation between Task Performance and Physiological Indices,” *J of physiological anthropology*, Vol.26, No.5, pp.553-557, 2007.
- [36] L. Zheng, Z. Jiang, and E. Yu, “Alpha spectral power and coherence in the patients with mild cognitive impairment during a three-level working memory task,” *J of Zhejiang University-Science B*, Vol.8, No.8, pp.584-592, 2007.
- [37] 최세영, “대뇌피질에서의 시냅스가소성과Critical period“, *KSBMB News*, Vol.23, No.4, pp.288-295, 2003.
- [38] A. Antal, D. Terney, C. Poreisz, and W. Paulus, “Towards unravelling task related modulations of neuroplastic changes induced in the human motor cortex,” *European Journal of Neuroscience*, Vol.26, No.9, pp.2687-2691, 2007.
- [39] 김기도, 심기철, 김경운, “국소 허혈성 뇌손상 흰 쥐 모델에서 경두개직류전기자극이 앞다리 운동 감각 기능 증진에 미치는 효과”, *한국컨텐츠학회지*, 제11권, 제4호, pp.273-282, 2011.
- [40] P. C. Gandiga, F. C. Hummel, and L. G. Cohen, “Transcranial DC stimulation (tDCS): a tool for double-blind sham-controlled clinical studies in brain stimulation,” *Clinical neurophysiology*, Vol.117, No.4, pp.845-850, 2006.
- [41] K. Polanowska and J. Seniów, “Influence of transcranial direct current stimulation on cognitive functioning of patients with brain injury,” *Neurologia i neurochirurgia polska*, Vol.44, No.6, p.580, 2010.
- [42] P. S. Boggio, F. Fregni, C. Valasek, S. Ellwood, R. Chi, J. Gallate, A. Pascual-Leone, and A. Snyder, “Temporal lobe cortical electrical

stimulation during the encoding and retrieval phase reduces false memories,” PloS one, Vol.4, No.3, p.e4959, 2009.

[43] T. P. Zanto, M. T. Rubens, A. Thangavel, and A. Gazzaley, “Causal role of the prefrontal cortex in top-down modulation of visual processing and working memory,” Nature neuroscience, Vol.14, No.5, pp.656-661, 2011.

[44] R. Cabeza and L. Nyberg, “Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and fMRI studies,” J of cognitive neuroscience, Vol.12, No.1, pp.1-47, 2000.

[45] Y. Sakurai, T. Momose, M. Iwata, Y. Sasaki, and I. Kanazawa, “Activation of prefrontal and posterior superior temporal areas in visual calculation,” J of the neurological sciences, Vol.139, No.1, pp.89-94, 1996.

[46] M. Rosenberg-Lee, M. Barth, and V. Menon, What difference does a year of schooling make?: Maturation of brain response and connectivity between 2nd and 3rd grades during arithmetic problem solving. NeuroImage, 2011.

[47] 이정모, 강은주, 김민식, 감기택, 김정오, 박태진, 김성일, 신현정, 이광오, 김영진, 이재호, 도경수, 이영애, 박주용, 곽호완, 박창호, 이재식, 인지심리학, 학지사, 2009.

정우식(Woo-Sik Jeong)

정회원



- 2010년 2월 : 동신대학교 물리치료학과 석사졸업
- 2010년 3월 ~ 현재 : 동신대학교 물리치료학과 박사과정 중
- 2011년 12월 ~ 현재 : 남평미래병원 재활센터 물리치료실

<관심분야> : 신경계 물리치료, 운동치료

이홍균(Hong-Gyun Lee)

정회원



- 2009년 2월 : 동신대학교 물리치료학과 석사졸업
- 2011년 2월 : 동신대학교 물리치료학과 박사수료
- 2012년 3월 ~ 현재 : 동신대학교 물리치료학과 교수

<관심분야> : 신경계 물리치료, 운동치료

김경윤(Kyung-Yoon Kim)

정회원



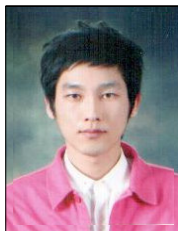
- 2004년 2월 : 동신대학교 물리치료학과 석사졸업
- 2007년 2월 : 동신대학교 물리치료학과 박사졸업(이학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 동신대학교 물리치료학과 교수

<관심분야> : 신경과학, 운동치료학

저자소개

배시철(Si-Jeol Bae)

정회원



- 2012년 2월 : 동신대학교 물리치료학과 석사졸업
- 2007년 5월 ~ 현재 : 광주씨티병원 재활센터 물리치료실

<관심분야> : 신경계 물리치료, 운동치료