

경두개직류자극 시 전극 크기가 손기능에 미치는 영향

■이혜진, 박수지¹, 권혜민², 이정우

광주여자대학교 물리치료학과, ¹광주여자대학교 대학원 물리치료학과, ²서남대학교 물리치료학과

The Effect of Electrode Size during tDCS on Hand Function

Hye-Jin Lee, Student Soo-Ji Park, PT¹; Hye-Min Kwon, PT, PhD²; Jeong-Woo Lee, PT, PhD

Department of Physical Therapy, Kwangju Women's University; ¹Department of Physical Therapy, Graduate School, Kwangju Women's University; ²Department of Physical Therapy, Seonam University

Purpose : This study is to examine the effect of electrode size during transcranial direct current stimulation on hand function.

Methods : By randomly assigning 26 right hand dominant subjects to two groups (I: carbon rubber electrode / II: disposable circular self-adhesive electrodes) with 13 subjects in each group depending on the electrode size, a positive electrode of transcranial direct current stimulation was placed on the primary motor area (C4) and a negative electrode was placed on the left primary motor area (C3) and the stimulation was applied for 20 minutes. Hand function assessment before and after transcranial direct current stimulation were measured with JTT (Jebsen-Taylor hand function test).

Results : According to hand function assessment by JTT, there were no interactions on both hands, and statistically significant differences according to time appeared in the main effect test.

Conclusion : Regardless of the electrode size, it appears that transcranial direct current stimulation on the primary motor area activated hand function affected.

Key words : Electrode size, Transcranial direct current stimulation (tDCS), Jebsen-Taylor hand function test (JTT)

논문접수일 : 2012년 12월 6일

수정접수일 : 2012년 12월 12일

게재승인일 : 2012년 12월 14일

교신저자 : 이정우, jwlee@kwu.ac.kr

1. 서론

최근 연구들에서 뇌를 효과적으로 자극할 수 있는 방법들이 중요하게 다루어지고 있는 추세이며, 뇌의 기능측정이나 회복과 관련하여 뇌의 가역성 및 기능 증진을 위한 여러 방법들이 제시되고 있다.¹⁻³ 그 중 인간의 운동피질 영역을 자극하는 비침습적인 경두개 직류 자극은 약한 직류 전류로써, 대뇌의 전류 흐름에 신경학적 활동성과 형태의 전환을 유발하는데 충분한 전기 자극으로 안전하고 효과적이다.⁴

일반적으로 경두개직류전기 자극은 양극 자극을 적용하였을 때 탈분극을 일으켜 흥분을 증가시키고, 음극 자극을 적용하였을 때는 해당 부위의 신경원, 또는 신경 네트워크를 과분극 시켜 흥분성을 감소 시키는 효과를 가지고 있으며, 낮은 강도의 전류는 운동결절의 흥분성에 영향을 준다.⁵

경두개직류 자극의 신경학적 효과는 정신적 또는 신경학적 손상 환자에서 인지력과 행동기능의 향상을 가져온다.⁶ 또한 많은 연구들에서는 경두개직류 자극이 인지력과 운동수행을 담당하는 대뇌 피질에 영향을 준다고 밝혔으며,^{2,6,7} 일차운동영역(M1)에 적용 시

에는 운동영역의 활성화로 운동 수행능력이 향상되고,⁸ 앞이마엽에 적용 시에는 인지 기능이 향상된다.⁹ 현재 신경과학 및 인지 과학분야에서 정상인뿐만 아니라 다양한 뇌손상을 가진 환자들의 기억과 인지, 운동학습에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다.^{10,11}

운동수행의 효과를 입증하는 방법으로는 손기능평가(Jebsen-Taylor hand function test), 시열반응과제(serial reaction) 등 다양한 방법들이 사용되고 있다.^{6,12}

많은 논문에서는 경두개직류 자극 시 국제 10-20 system 배치법에 따라 활성전극은 반드시 원하는 길질의 두피 위에 적용하고 그 위치에 따라 나타나는 변화를 알아보며, 이 때 경두개직류 자극의 강도는 전극의 크기에 따른 전류밀도를 고려하여 적용하였으나,¹³ 정형화된 전극 크기에 대한 제시는 없었다.

손상측, 크기, 위치, 병변 발생 후 소요된 시간들이 대뇌길질을 자극한 후에 나타나는 기능적인 결과들에 많은 영향을 준다.¹⁴ 대부분의 연구에서는 경두개직류 자극 시 탄소고무전극^{1,7,15}을 사용하고 있지만, 이러한 전극의 형태는 뇌 영역을 선택적으로 자극하기 어려울 뿐만 아니라 두피나 머리카락 등에 의해 발생하는 높은 저항으로 인해 효과적으로 전류를 전달하기가 어렵다.¹⁶

따라서 본 논문에서는 일차운동영역에 경두개직류 자극 시 전극의 형태가 손기능에 미치는 영향에 대해 알아 보고자 실시하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 광주지역의 K대학교 20대 여성을 대상으로 실험에 지원한 26명을 선발하여, 무작위로 13명씩 2그룹으로 나누었으며, 연구 기간은 2012년 7월 26일부터 8월 9일까지 실시 하였다. 실험을 하기에 앞서 대상자들에게 실험에 대해 충분한 설명을 하고 실험 참여 동의서를 받은 후 연구를 진행하였다. 모든 대상자는 무작위로 각 그룹 당 13명씩 선발하여, 실험 I 군(탄소고무전극군)과 II 군(일회용 원형 접착식전극군)에 각각 배치하였다.

대상자들은 본 연구의 참가에 동의한 자, 과거 뇌손상 경험이 없고, 시·지각에 문제가 없는 정상인으로 왼쪽 손이 비우세측인 자, 인지적 손상이 없는 자, 운동 및 감각 기능이 정상인 자, 머리에 금속 삽입물이 없는 사람으로 선정하였으며, 대상자들의 일반적인 특성은 다음과 같다(표 1).

표 1. 대상자의 일반적 특성

(n=26)

| 특성 | I 군(n=13) | II 군(n=13) |
|--------|-----------|------------|
| 나이(세) | 22.1±0.7 | 21.6±0.8 |
| 신장(cm) | 161.3±4.4 | 160.4±3.9 |
| 체중(kg) | 54.0±3.7 | 54.6±7.7 |

평균±표준편차

I 군: 탄소고무전극군 / II 군: 일회용 원형 접착식전극군

2. 경두개직류 자극 방법

경두개직류전류 자극에 사용된 기기는 Endomed 482 (Enraf-Nonious B.V.Co., 네덜란드)을 사용하였으며, 경두개직류전류 자극은 대상자가 편안하게 앉은 자세에서 적용하였고 대상자가 잠 들지 않게 주의 하였다.

국제 10-20 system 배치법에 따라 양극 전극은 일차 운동 영역(M1)인 C4에 배치하고, 음극 전극은 C3에 배치 하였다. 통전 시 자극전류는 단속 직류를 사용하였으며 맥동시간 2msec, 맥동간 간격시간 5msec으로 설정하여 사용하였고 자극시간은 총 20분으로 적용하였다.

실험군 I에서는 4x6cm² 크기의 큰 탄소고무전극(대양의료기, 대한민국)을 사용하여 0.058mA/cm²강도로 적용하였고, 실험군 II에서는 1.77cm²크기의 작은 1회용 원형 접착식 전극(SKINTACT, Leon hard lang GmbH, 호주)을 사용하여 0.06mA/cm² 강도로 적용하였다.

3. 측정방법

1) 손기능 평가(Jebsen-Taylor hand function test; JTT)

손기능 평가는 일상생활동작에서 사용되는 손기능을 7가지의 항목을 통하여 간편하게 평가하기 위한 평가 도구로 각각의 손 기능 평가 범위 안에서 능력의 연속성을 기록하는 검사 방법이며, 각 항목들을 비우세측 손부터 우세측 손으로 순서대로 실시하였고, 초시계를 사용해서 수행시간을 측정한 후 비우세측 손과 우세측 손에서 각각 총 동작의 평균 시간을 분석해서 사용하였다.

(1) 글쓰기

대상자에게 검은색 볼펜과 A4용지를 제공한 뒤, 5개의 문장을 5x8인치 카드에 각각 작성 하여 책상에 뒤집어 놓은 상태로 준비 하였다.

- ① 노인은 피곤해 보인다.
- ② 물고기를 물에서 꺼냈다.
- ③ 물고기는 물 밖에서 숨을 쉴 수 없다.

- ④ 존은 빨간 트럭이 오는 것을 봤다.
 ⑤ 고래들은 푸른 바다에 산다.
 위 5장의 카드를 하나씩 뒤집어 가면서 대상자는 5개의 문장을 각각 쓰기 시작하고, 문장을 쓸 때의 소요 시간을 측정하였다.

(2) 카드 뒤집기

3x5인치 크기의 카드 5장을 검사하는 쪽 끝부터 중앙으로 3인치 간격으로 두고 5장의 카드를 횡정렬을 시킨 다음에 시작과 함께 5장의 카드를 순서대로 뒤집히는데 소요되는 시간을 측정하였다.

(3) 작은 물건 옮기기

속이 빈 깡통을 대상자 쪽의 가장자리에서부터 중앙으로 5인치 떨어진 곳에 놓은 후 깡통에서 가까운 곳부터 먼 곳까지 동전 2개, 보통 크기 병뚜껑 2개, 클립 2개를 각각 2인치 간격으로 검사판 위에 정렬시켰다. 클립부터 동전까지 집어서 깡통에 넣어 마지막 동전이 떨어지는 소리가 날 때까지의 소요 시간을 측정하였다.

(4) 먹는 동작

콩 5개를 대상자 쪽의 가장자리에서부터 중앙으로 5인치 떨어진 곳에 두고 검사 받는 손 쪽에 2인치 간격으로 횡정렬 시켰다. 속이 빈 깡통을 검사하는 방향 쪽으로 놓고 찻숟가락을 편하게 쥐게 하여 검사하는 손 쪽의 콩부터 마지막 콩을 깡통에 옮기면서 깡통에 떨어지는 소리가 들릴 때까지의 소요 시간을 측정하였다.

(5) 장기말 쌓기

장기말 4개를 검사판 끝에 닿게 각각 2인치 간격으로 대상자 중앙에 횡 정렬시켰다. 시작과 함께 검사판 위로 네번째 말이 세 번째 말 위에 놓이는 순간까지 소요되는 시간을 측정하였다.

(6) 크고 가벼운 물건 옮기기

크기가 일정한 속이 빈 깡통 5개를 2인치 간격으로 횡 정렬시켰다. 시작부터 마지막 깡통이 검사판 위로 올라올 때까지의 소요 시간을 측정하였다.

(7) 크고 무거운 물건 옮기기

크기는 가벼운 깡통과 같고, 속이 찬 깡통 5개를 크고 가벼운 물건 옮기기과 같은 방법으로 소요 시간을 측정하였다.

4. 자료분석

자료의 통계분석은 SPSS/window (version 12.0)을 이용하여 분

석 하였다. 각 측정 항목들 간의 경도개직류 적용 전, 후의 시간에 따른 변화 양상 차이 분석은 반복측정분산분석(repeated measures ANOVA)을 실시 하였으며, 유의수준 α 는 0.05로 설정 하였다.

III. 결과

1. 손 기능 평가의 변화

경도개직류 자극 후 JTT 손 기능의 변화를 분석한 결과는 다음과 같다. 글씨쓰기, 작은물건 옮기기, 크고 가벼운 물건 옮기기, 크고 무거운 물건 옮기기 항목에서는 양쪽 손 모두 주효과 시간에서만 통계적인 유의한 차이가 나타났다($p < 0.05$)(표 2, 4, 7, 8). 카드 뒤집기, 먹는 동작, 장기말 쌓기 항목에서는 왼쪽 손에서만 통계적인 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$)(표 3, 5, 6).

표 2. 글씨쓰기

(단위: 초)

| | 그룹 | 적용 전 | 적용 후 | F | | |
|-----|----|--------------|--------------|---------|-------|-------|
| | | | | 시간 | 시간*그룹 | 그룹 |
| 왼 손 | I | 127.83±28.70 | 111.80±31.06 | 11.034* | 0.029 | 0.077 |
| | II | 125.18±39.80 | 107.42±38.72 | | | |
| 오른손 | I | 47.02±4.07 | 43.82±3.45 | 18.888* | 1.035 | 0.035 |
| | II | 46.76±5.73 | 44.77±5.99 | | | |

평균±표준편차

I: 탄소고무전극군 / II: 일회용 원형 접촉식전극군

* $p < 0.05$

표 3. 카드 뒤집기

(단위: 초)

| | 그룹 | 적용 전 | 적용 후 | F | | |
|-----|----|-----------|-----------|---------|-------|-------|
| | | | | 시간 | 시간*그룹 | 그룹 |
| 왼 손 | I | 4.44±0.86 | 3.40±0.66 | 47.411* | 3.216 | 1.418 |
| | II | 4.67±1.19 | 4.06±1.12 | | | |
| 오른손 | I | 3.52±0.55 | 5.45±7.43 | 0.628 | 1.058 | 0.627 |
| | II | 3.77±1.21 | 3.52±1.09 | | | |

평균±표준편차

I: 탄소고무전극군 / II: 일회용 원형 접촉식전극군

* $p < 0.05$

표 4. 작은 물건 옮기기 (단위: 초)

| | 그룹 | 적용 전 | 적용 후 | F | | |
|-----|----|-----------|-----------|--------|-------|-------|
| | | | | 시간 | 시간*그룹 | 그룹 |
| 왼손 | I | 5.39±1.08 | 4.72±0.73 | 4.717* | 0.203 | 2.197 |
| | II | 6.88±4.15 | 5.85±2.30 | | | |
| 오른손 | I | 5.04±0.81 | 4.56±0.64 | 6.103* | 0.113 | 0.764 |
| | II | 5.41±1.68 | 5.04±1.73 | | | |

평균±표준편차
 I: 탄소고무전극군 / II: 일회용 원형 접착식전극군
 *p<0.05

표 5. 먹는 동작 (단위: 초)

| | 그룹 | 적용 전 | 적용 후 | F | | |
|-----|----|------------|------------|---------|-------|-------|
| | | | | 시간 | 시간*그룹 | 그룹 |
| 왼손 | I | 18.05±4.82 | 13.80±3.00 | 13.895* | 1.614 | 0.700 |
| | II | 15.79±4.72 | 13.69±4.06 | | | |
| 오른손 | I | 15.76±5.38 | 12.21±4.13 | 8.519 | 0.550 | 0.703 |
| | II | 13.20±5.98 | 10.99±4.46 | | | |

평균±표준편차
 I: 탄소고무전극군 / II: 일회용 원형 접착식전극군
 *p<0.05

표 6. 장기말 쌓기 (단위: 초)

| | 그룹 | 적용 전 | 적용 후 | F | | |
|-----|----|-----------|-----------|---------|-------|-------|
| | | | | 시간 | 시간*그룹 | 그룹 |
| 왼손 | I | 1.63±0.41 | 1.15±0.25 | 24.520* | 0.068 | 2.856 |
| | II | 1.92±0.67 | 1.40±0.49 | | | |
| 오른손 | I | 1.40±0.34 | 1.29±0.45 | 4.096 | 0.435 | 0.004 |
| | II | 1.45±0.45 | 1.22±0.55 | | | |

평균±표준편차
 I: 탄소고무전극군 / II: 일회용 원형 접착식전극군
 *p<0.05

표 7. 크고 가벼운 물건 옮기기 (단위: 초)

| | 그룹 | 적용 전 | 적용 후 | F | | |
|-----|----|-----------|-----------|---------|-------|-------|
| | | | | 시간 | 시간*그룹 | 그룹 |
| 왼손 | I | 3.43±0.53 | 2.75±0.48 | 44.673* | 0.290 | 0.334 |
| | II | 3.60±0.76 | 2.80±0.47 | | | |
| 오른손 | I | 2.85±0.48 | 2.56±0.41 | 12.938* | 1.027 | 0.029 |
| | II | 2.99±0.86 | 2.49±0.47 | | | |

평균±표준편차
 I: 탄소고무전극군 / II: 일회용 원형 접착식전극군
 *p<0.05

표 8. 크고 무거운 물건 옮기기 (단위: 초)

| | 그룹 | 적용 전 | 적용 후 | F | | |
|-----|----|-----------|-----------|---------|-------|-------|
| | | | | 시간 | 시간*그룹 | 그룹 |
| 왼손 | I | 3.10±0.38 | 2.68±0.49 | 26.943* | 0.338 | 0.028 |
| | II | 3.19±0.81 | 2.67±0.64 | | | |
| 오른손 | I | 2.96±0.48 | 2.53±0.52 | 12.945* | 0.001 | 0.175 |
| | II | 2.86±0.75 | 2.44±0.73 | | | |

평균±표준편차
 I: 탄소고무전극군 / II: 일회용 원형 접착식전극군
 *p<0.05

IV. 고찰

본 연구는 극성을 달리 적용하여 동시에 일차운동영역 부위에 경두개직류 자극 시 전극 크기가 손기능에 미치는 영향에 대하여 알아 보기 위해 정상 여성 성인을 대상으로 실험한 결과, 손 기능평가에서 경두개직류 전기 자극 후 글씨쓰기, 작은물건 옮기기, 크고 가벼운 물건 옮기기, 크고 무거운 물건 옮기기 항목에서는 양쪽 손 모두 주효과 시간에서만 통계적인 유의한 차이가 나타나 전극의 크기와 관계없이 양쪽 손 글씨쓰기와 물건 옮기기 기능을 향상시키는 것으로 나타났다. 또한 카드 뒤집기, 먹는 동작, 장기말 쌓기 항목에서는 왼쪽 손에서만 통계적인 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 경두개직류 전기자극 후 전극의 크기와 관계없이 비우세 손인 왼쪽 손 카드 뒤집기, 먹는 동작, 장기말 쌓기와 같은 기능을 향상시키는 것으로 나타났다. Lim¹은 정상인을 대상으로 한 실험에서 비우세손의 반대측 일차운동영역에 양극 직류전류자극을 적용하고, 우세손의 반대측 눈확부위(orbit region)에 음극 직류전류자극을 적용하여 양손의 수행시간을 비교한 결과 양극 직류전류자극을 적용한 비우세손측에서 수행시간이 향상되었으며, 경두개직류자극이 결합 활성도의 변화에 영향을 줄 뿐만 아니라, 손의 행동반응에도 긍정적 영향을 미치는 것으로 보고하였다.

또한 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 실시한 다른 연구들^{14,17}에서 일차운동영역에 1mA 강도로 20분간 경두개직류전류자극을 실시하여 만성 뇌졸중 환자들의 손기능 수행시간이 감소하였다고 보고하였으며, 정상인에게 동일한 방법으로 경두개직류전류자극을 적용한 연구로, Boggio 등⁸의 연구에서 정상인의 비우세측에 20분 동안 경두개직류자극을 적용한 결과 손기능 수행시간이 감소하였고, 경두개직류자극이 행동반응에 영향을 미친다고 주장하였다. 뇌결절과 기저핵부의 변성으로 실험증을 동반하고 운동장애가 주

증상인 겔질지핵변성(corticobasal degeneration)환자를 대상으로 일차운동영역과 실행증(apraxia)과 관련이 있는 마루엽(parietal lobe)에 경두개직류전류자극을 적용하였을 때, 손가락 두드리기 검사값에서 마루엽(P3, P4)을 자극하여 나타난 변화율보다 일차운동영역(C3, C4)을 자극하여 나타난 변화율이 더 크게 나타났다.¹⁸

뇌졸중 환자를 대상으로 일반적인 재활 치료의 적용과 경두개직류자극의 적용이 대뇌겔질의 운동관련 영역의 활성화와 상지기능에 미치는 영향을 신경생리학적 및 기능 평가를 통하여 정량적으로 분석한 연구¹⁹에서 상지기능평가를 알아보기 위한 항목으로 FMA (Fugle-Meyer Assessment)와 JTT (Jebsen-Taylor hand function test)를 시행하였다. 그 결과 JTT의 항목 중에서 경두개직류자극군이 효과적으로 나타난 항목으로는 먹는 동작의 수행 시간 및 크고 무거운 물건 옮기기 수행시간의 2가지 항목에서 나타났으며, FMA의 항목 중에서 경두개직류자극군이 어깨관절, 손목관절, 손 기능평가 점수가 향상되었다고 보고하였다.¹⁹

본 연구에서도 비우세측 손과 우세측 손의 JTT의 값들이 전극크기에 따라 큰 차이는 없었으나, 대부분의 선행연구들의 결과와 비슷한 결과를 보여 역시 경두개직류 전기자극은 손 기능 향상에 도움을 주는 것을 알 수 있었다.

뇌졸중환자에게 경두개직류자극을 적용하여 운동수행력 향상과 관련된 고찰(review) 연구²⁰에서 경두개직류자극이 상지기능의 운동수행력을 향상시킬 뿐만 아니라, 하지의 운동수행력과 운동학습력을 향상시키기 위한 재활치료의 한 도구로 사용될 수 있다는 것에 가능성을 제시 하였으며, 효과적인 매개변수들 중 활성화전극의 크기는 5~35cm²로 활성화시키고자 하는 뇌의 영역에 적용하였으며, 전형적인 자극 강도는 0.5~2mA, 적용시간은 5~20분, 자극 강도는 0.02~1mA/cm², 총 전하량은 15~100C/cm² 사이인 것으로 보고하였다.

본 연구에서 전극크기에 따른 손 기능의 변화는 차이가 없는 것으로 나타났지만, 선행 연구에서와 비슷한 매개변수들을 사용함으로써 우세측 및 비우세측 손 기능 평가의 시간에 따른 변화가 경두개직류자극에 의한 것으로 생각되며, 전극의 크기보다는 전극의 면적당 적용되는 강도와 전하량이 중요한 것으로 생각된다.

또한 본 연구에서와 같이 극성을 달리하여 비우세측 손의 뇌 지배영역에 대한 양극의 적용과 함께 우세측 손의 뇌 지배영역에 대한 음극의 적용이 일차운동영역의 겔질 활성도를 변화시켜 손기능을 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점으로는 대상자가 정상여성 성인이라는 점과 본 연구에서 사용된 소형의 원형 접착식 전극이 머리카락 등과 같은

저항을 최대한 줄이기에는 어려움이 있었기 때문에 본 연구에서 사용된 전극보다 더욱 작은 전극으로 한 연구에서 본 연구의 결과를 확대 해석하기에는 제한점이 있다.

V. 결론

본 연구는 정상인을 대상으로 뇌의 양쪽 일차운동영역에 극성을 달리하여 동시에 경두개직류 자극 시 전극형태가 손기능에 미치는 영향에 대해 알아 보고자 실시하였다. 그 결과 전극크기와 관계없이 경두개직류자극이 손기능 향상에 도움을 줄 수 있는 것으로 생각되며, 이러한 자료는 향후 중추신경계 병변 환자들을 대상으로 한 연구에서 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Lim YE, Kim SH, Yang DJ et al. Change of cerebral motor area activity by anodal transcranial direct current stimulation (tDCS). J Korean Soc Phys Ther. 2009;21(4):65-71.
2. Seo MH. Improvement of working memory by transcranial DC stimulation in healthy older adults. Chonbuk National University. Dissertation of Master Degree. 2010.
3. Sim GC. The effect of tDCS and motor skill learning on sensorimotor recovery and synaptic plasticity in MCAO induced stroke model of rat. Dongshin University. Dissertation of Doctorate's Degree. 2011.
4. Kim YH. The effects of transcranial direct current stimulation on neuroplasticity and functional recovery in spinal cord contusion model of rats. Dongshin University. Dissertation of Doctorate's Degree. 2011.
5. Furubayashi T, Terao Y, Arai N et al. Short and long duration transcranial direct current stimulation (TDCS) over the human hand motor area. Exp Brain Res. 2008;185(2):279-86.
6. Kim JS, Nam SH, Cho IS. The effects of transcranial direct current stimulation in motor performance of serial reaction time task. J Korean Soc Phys Ther. 2010;22(5):103-8.

7. Kwon YH, Kim JS, Jang SH. Cortical activation in the human brain induced by transcranial direct current stimulation. *J Korean Soc Phys Ther.* 2009;21(4):73-9.
8. 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):232.
9. Boroojerdi B, Phipps M, Kopylev L et al. Enhancing analogic reasoning with rTMS over the left prefrontal cortex. *Neurology.* 2001;56(4):526-8.
10. Berger A, Sadeh M, Tzur G et al. Motor and non-motor sequence learning in children and adolescents with cerebellar damage. *J Int Neuropsychol Soc.* 2005;11(4):482-7.
11. Kelly SW, Jahanshahi M, Dirnberger G. Learning of ambiguous versus hybrid sequences by patients with parkinson's disease. *Neuropsychologia.* 2004;42(10):1350-7.
12. Lim YE. Effect of hand function and cerebral motor area activity by transcranial direct current stimulation (tDCS). Dongshin University. Dissertation of Master Degree. 2009.
13. Ohn SH. Effects of non-invasive transcranial brain stimulation on the enhancement of cognitive function in normal person. Yonsei University. Dissertation of Master Degree. 2007.
14. Hummel F, Celnik P, Giraux P et al. Effects of non-invasive cortical stimulation on skilled motor function in chronic stroke. *Brain.* 2005;128:490-9.
15. Kwon YH, Kwon JW, Park S et al. Cortical activation by transcranial direct current stimulation and functional electrical stimulation in normal subjects: 2 case studies. *J Korean Soc Phys Ther.* 2011;23(1):77-82.
16. Schlaug G, Renga V, Nair D. Transcranial direct current stimulation in stroke recovery. *Arch Neurol.* 2008;65(12):1571.
17. Hummel FC, Voller B, Celnik P et al. Effects of brain polarization on reaction times and pinch force in chronic stroke. *BMC neuroscience.* 2006;7(1):73.
18. Ko MH, Eric M, Seo JH et al. Improvement of apraxia and hand function with transcranial direct current brain polarization in patients with corticobasal degeneration. *J Korean Acad Rehab Med.* 2007;31:278-82.
19. Lee DG. The effects of the tDCS for a change of upper limb function and cortical excitability in chronic stroke patients. Dongshin University. Dissertation of Doctorate's Degree. 2011.
20. Madhavan S, Shah B. Enhancing motor skill learning with transcranial direct current stimulation? a concise review with applications to stroke. *Front Psychiatry.* 2012;3:66.