경두개직류자극이 정상 성인의 하지 민첩성에 미치는 영향

고 윤, 두영택, 이정우

광주여자대학교 물리치료학과

Effects of Transcranial Direct Current Stimulation on Leg Agility of Normal Adults: A Pilot Study

Un Koh, Yeong Taek Doo, Jeong Woo Lee

Department of Physical Therapy, Gwangju Women's University, Gwangju, Korea

Objectives: The purpose of this study is to examine effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on leg agility of normal adults. **Methods:** Subjects were 18 healthy male adults in their 20s, and they were distributed into them group (9) and tDCS application group (9). The tDCS was applied in 0.083 mA/cm² intensity for 15 minutes, and stimulating current during application was interrupted DC, with pulse duration of 2 msec, and interpulse interval duration of 5 msec. agility were measured through Burpee test and Sidestep test before and after tDCS application. **Results:** The reaction time in muscle contraction showed significant differences interaction effects between group and time in rectus femoris, tibialis anterior, semitendinosus, and gastrocnemius muscles. Burpee and sidestep tests all showed significant differences interaction effects between group and time. **Conclusions:** The reaction time of muscle contraction after tDCS was reduced in all muscle. The numbers of sidestep and Bupee test after tDCS were increased. Therefore, the results of this study suggest that tDCS application might help increase lower limb agility.

Key words: tDCS, Cortical excitability, Agility

서 론

경두개직류자극(transcranial direct current stimulation, tDCS)은 비 침습적인 방법으로 두피를 통해 약한 전류를 흘려보내어 운동 피질의 흥분성을 조절할 수 있으며, 선택적으로 양극(positive) 자극과 음극(negative) 자극에 의한 신경막의 흥분과 억제를 할 수 있는 도구이다 [1]. 양극으로 자극 시 흥분성 변화는 자극의 극성과 지속시간 및 전류 강도에 의해 진행되어지며[2], 1-2 mA의 전류세기로 뇌를 활성화시킬 수 있다[3].

경두개직류자극에는 지속 및 단속자극의 차이가 없으며, 양극 경두

개직류자극(positive tDCS)은 행동반응뿐만 아니라 운동신경계에 영향을 미치는 것으로 보고되었다[4]. 경두개직류자극은 뇌졸중 환자를 대상으로 한 연구에서도 상지의 활동수행력 증진[5]과 하지의 근활성 [6]에 효과적이며, 노인 여성을 대상으로 한 연구에서도 하지의 보행에 필요한 근활성에 효과적인 것으로 보고되고 있다[7]. 기능적 자기공명 영상(functional MRI)을 통한 연구[8]에서는 경두개직류자극이 운동 피질의 신경흥분성을 조절하여 운동기능 향상에 효과적으로 설명되고 있다. 더 나아가 최근에는 이러한 경두개직류자극이 운동관련 기능뿐만 아니라 인지기능 향상과 관련된 연구들[9-12]이 보고되고 있다. Kim and Kim [13]은 경두개직류자극은 정신적, 신경학적으로 이상이

Corresponding author: Jeong Woo Lee

201 Yeodae-gil, Gwangsan-gu, Gwangju 62396, Korea
Tel: +82-62-950-3659, E-mail: jwlee@kwu.ac.kr

Received: July 17, 2018 Revised: August 24, 2018 Accepted: August 27, 2018

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

How to cite this article:

Koh U, Doo YT, Lee JW. Effects of transcranial direct current stimulation on leg agility of normal adults: a pilot study. J Health Info Stat 2018;43(3):231-236. Doi: <https://doi.org/10.21032/jhis.2018.43.3.231>

© It is identical to the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permit unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© 2018 Journal of Health Informatics and Statistics

없는 정상 성인을 대상으로 연구된 결과를 토대로 보았을 때 학습, 운동기술의 촉진 등 전반적으로 긍정적인 효과를 가져온 것으로 보고하였다. 따라서 경두개직류자극은 사람의 뇌피질의 흥분성을 조절하여 인지 및 운동관련 기능을 향상시키는 데 도움이 되는 것으로 알려져 있다.

민첩성이란 재빠른 동작으로 신체를 잘 조정하고 부드럽게 반응할 수 있는 능력 혹은 신체 동작에 있어서 전신 또는 부분 동작을 신속하게 변경한다든지 운동의 방향을 재빠르게 바꿀 수 있는 능력을 말하며, 중추 신경계의 빠른 판단, 신경과 근의 협조성, 근수축 속도 등의 주요 요인이 기초를 이루고 있다[14]. 따라서 많은 스포츠 선수들에게서 민첩성은 대단히 중요한 요소이기 때문에 이를 극대화하는 방법은 물론 특히, 손상으로 인한 재활과정에서도 이러한 민첩성을 다시 회복시키는 것이 중요하다. 민첩성을 측정하는 방법 중에 사이드 스텝검사(side step test)는 근수축에 따른 민첩성을 측정하는 방법 중 하나이며, 버피 검사(burpee test)는 반복 동작에 따른 민첩성을 측정하는 방법 중에 하나로 남녀 어린이들로부터 대학생들에 이르기까지 쉽게 실시할 수 있는 타당도가 높은 민첩성 검사이다[14]. 민첩성 향상을 위한 연구들에는 대부분 근력강화[15,16]나 플라이오메트릭 트레이닝[17-20]을 활용한 연구들이 보고되고 있다. 이러한 방법들은 대상자가 일정 이상의 근력을 가지고 저항운동이나 신체의 무게를 활용해 탄성적인 활동을 하는 방법이기 때문에 특히 스포츠 손상으로 인한 대상자들이 회복을 위한 초기 방법으로는 바로 적용하기가 어려운 단점이 있다. 따라서 신체적으로 많이 허약하거나 손상 후 회복 초기에 있는 대상자들에게 있어서 민첩성에 도움이 되는 방법들에 대한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구의 목적은 근수축 반응시간과 사이드 스텝 및 버피테스트 측정을 통해 경두개직류자극이 정상 성인 하지의 민첩성에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

연구 방법

연구 대상자

본 연구는 광주지역의 건강한 20대 남성을 대상으로 실험에 지원한 18명을 선발하여 무작위로 9명씩 경두개직류자극군과 허위 자극군(sham group)에 배치하였다. 대상자 선정기준은 본 연구의 참가에 동의한 자, 무릎 수술을 하지 않은 자, 머리에 금속 삽입물이 없는 자로 선정하였다. 실험을 하기에 앞서 대상자들에게 실험에 대한 충분한 설명을 하고 실험 동의서를 작성하게 한 후 진행하였다. 연구 대상자의 일반적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. General characteristics of the subjects (n=18)

Group	Age (y)	Height (cm)	Weight (kg)
	M±SD	M±SD	M±SD
I	21.8±4.0	178.9±6.5	69.4±10.0
II	21.6±1.0	173.7±4.8	70.4±12.5

M±SD, mean±standard deviation. I, Sham group; II, Transcranial direct current stimulation group.

전기자극 방법

경두개직류자극은 Endomed 482 (Enraf Nonious B.V. CO, Netherlands)를 사용하였다. 경두개직류자극은 대상자가 편안하게 앉은 자세에서 국제 10-20 system에 따라 양극 전극은 발의 운동영역에 해당하는 Cz에 배치하고 음극 전극은 우세측 안와상부에 배치하고 벨크로(velcro)를 이용해서 대상자가 불편하지 않도록 하면서 부착하였다. 전기자극은 단속직류 삼각형파를 사용하였으며, 맥동시간 2 msec, 맥동간 간격시간 5 msec, 자극시간은 총 15분으로 설정하여 1회 적용하였다. 전극은 4×6 cm² 크기의 탄소 고무전극(Daeyangmed, Korea)을 사용하였다. 전류강도는 감각역치 이하로 적용하기 위해 실험 전에 모든 군의 대상자들에게 전기자극을 서서히 증가시켜 감각역치(sensory threshold) 전류량을 확인한 후 경두개직류자극군에는 감각역치보다 0.2 mA씩 낮추어 아감각역치 수준(subsensory level)으로 적용하였다. 실험 중에 대상자들이 전기자극을 다시 느끼면 곧바로 0.2 mA씩 다시 전류량을 낮추어 아감각성 수준을 유지하도록 하였다. 경두개직류자극군의 평균 적용 전류강도는 0.083 mA/cm²이었다. 허위 자극군은 경두개직류자극군과 동일한 방법으로 전극을 부착하되 대상자는 전기자극을 하는 것으로 알려주고 실제로는 전기자극을 적용하지 않고 15분 후에 허위 전기자극을 종료하였다.

측정방법

근수축 반응시간 측정

근수축 반응시간 측정에 사용된 기기는 MP150 (BIOPACK Systems, Inc, USA)을 사용하였으며, 분석 프로그램은 Acqknowledge 4.1 (BIOPACK Systems, Inc., USA)을 사용하였다. 주파수 통과대역 필터(band-pass filter)는 20-500 Hz, 표본추출률(sampling rate)은 1,000 Hz로 설정하였다. 전극을 부착하기 전에 알코올로 접착부위를 깨끗이 닦아 피부 임피던스를 최대한 감소시켰다. 접지전극은 종아리뼈 머리에 부착하였다. 대상자는 근육 넓다리 곧은근(rectus femoris), 앞정강근(tibialis anterior), 반힘줄근(semiendiosus), 장딴지근(gastrocnemius)에 표면 근전도를 부착하였다. 측정자세는 대상자 정면에 놓여진 LED 등에 붙어 들어오면 최대한 빠르고 높게 팔의 스윙을 이용하지 않고 무릎 반동만을 이용하여 수직 점프하는 NAC (no arm with countermovement)

동작을 수행하도록 하였다. LED 등 불빛 신호는 MP150에 연결되어 디지털 신호화하도록 되어 있으며, 분석은 LED 등 불빛이 들어온 시작 지점에서 각 측정 근육들의 활성화되는 지점까지의 시간을 분석하였다. 근육들의 활성화되는 시작 시간 분석은 대상자가 최대한 움직이지 않고 편안하게 서 있는 자세에서 측정된 3초간의 신호를 실효치 진폭값(root mean square)으로 변환하여 평균과 표준편차를 구한 후 표준편차에서 3배 이상이 되는 실효치 진폭값 부분을 근수축 시작 시간으로 분석하였다. 측정은 실험 전과 직후에 각각 2회 측정하였고, 각 측정은 3회 측정 후 평균값을 사용하였다.

민첩성 측정

사이드 스텝 테스트

사이드 스텝 테스트는 중앙선을 기준으로 좌·우로 120 cm 간격의 선을 그은 후, 대상자들이 중앙선 사이에 양발을 자연스럽게 벌리고 서 있는 자세에서 시작하였다. 측정자의 신호가 주어지면 대상자들은 중앙선→우측선→좌측선→중앙선 사이를 순서대로 양발이 각각의 선 안에 위치하면서 최대한 빠르게 움직이도록 하여 이것을 1회로 측정하였으며, 총 20초간 움직인 횟수를 측정하였으며, 실험 전과 직후에 각각 측정하였다.

버피 테스트

버피 테스트는 대상자들이 차렷 자세로 서 있는 자세에서 시작하였다. 측정자의 신호가 주어지면 대상자들은 서 있는 자세에서 다리를 구부리고 앉으면서 양팔을 어깨 넓이로 벌려서 양손으로 바닥을 짚게 하였다. 곧이어 대상자들은 양손을 바닥에 짚은 채로 두 다리를 힘차게 뒤로 뻗었다가 다시 제자리로 구부린 후에 일어나서 차렷 자세로 돌아오도록 하였다. 이것을 1회로 측정하였으며, 대상자들에게 최대한 빠른 동작을 하도록 하였다. 총 20초간 횟수를 측정하였으며, 실험 전과 직후에 각각 측정하였다.

자료분석

자료의 통계분석은 SPSS 19.0 (IBM Co., Armonk, NY, USA) 프로그램으로 실시하였다. 시간에 따른 두 그룹 간 근수축 반응시간과 하지 민첩성의 변화양상의 차이를 알아보기 위해 이요인 반복측정 분산 분석을 실시하였다. 유의수준은 0.05로 설정하였다.

연구 결과

근수축 반응시간의 변화

근수축 반응시간의 변화를 분석한 결과 모든 근육에서 시간과 그룹 간 상호작용이 통계적으로 유의한 것으로 나타났다($p < 0.05$) (Table 2). 따라서 시간에 따른 그룹 간 근수축 반응시간의 변화양상이 다른 것으로 나타나 허위 자극군은 실험 직후에 근수축 반응시간이 약간 증가하거나 변화가 거의 없었지만 경두개직류자극군은 실험 직후에 모든 근육들에서 근수축 반응시간이 감소하는 것으로 나타났다.

민첩성의 변화

민첩성의 변화를 분석한 결과 사이드 스텝 및 버피테스트 모두에서 시간과 그룹 간 상호작용이 통계적으로 유의한 것으로 나타났다($p < 0.05$) (Table 3). 따라서 시간에 따른 그룹 간 사이드 스텝과 버피테스트에서 횟수의 변화양상이 다른 것으로 나타나 허위 자극군은 실험 직후에 약간 증가하거나 변화가 거의 없었지만 경두개직류자극군은 실험 직후에 모두 횟수가 증가하는 것으로 나타났다.

고 찰

본 연구는 경두개직류자극이 정상 성인 하지의 근수축 반응시간 및 민첩성에 미치는 영향을 알아보고자 20대 정상 성인을 대상으로 연구를 실시한 결과 경두개직류자극이 하지의 근수축 반응시간과 민첩성

Table 2. Changes of reaction time in muscle contraction (unit: sec)

Muscle	Group	Before	After	Time	F	
		M±SD	M±SD		Group	Time*Group
Rectus femoris	I	0.51±0.06	0.56±0.11	1.505	0.904	12.042*
	II	0.62±0.07	0.50±0.06			
Tibialis anterior	I	0.54±0.13	0.53±0.06	7.621	1.168	5.866*
	II	0.68±0.19	0.51±0.11			
Semi tendinosus	I	0.60±0.10	0.61±0.06	2.970	0.161	4.615*
	II	0.67±0.14	0.58±0.09			
Gastrocnemius	I	0.59±0.06	0.63±0.07	0.436	4.229	5.045*
	II	0.71±0.06	0.65±0.13			

M±SD, mean ± standard deviation. I, Sham group; II, Transcranial direct current stimulation group.

* $p < 0.05$.

Table 3. Changes of agility (unit: number)

Test	Group	Before	After	Time	F	
		M ± SD	M ± SD		Group	Time*Group
Side step	I	8.9 ± 1.4	9.9 ± 1.5	81.390*	0.386	6.644*
	II	9.0 ± 1.9	10.8 ± 1.8			
Burpee	I	10.6 ± 1.8	10.9 ± 2.1	32.330*	0.667	19.959*
	II	10.0 ± 1.7	12.8 ± 1.6			

M ± SD, mean ± standard deviation. I, Sham group; II, Transcranial direct current stimulation group.

* $p < 0.05$.

을 향상시킨 것으로 나타났다.

Kim et al. [21]은 남녀 고등 투척선수들의 민첩성 향상을 알아보기 위해 플라이오메트릭 트레이닝과 웨이트 트레이닝에 따른 사이드 스텝과 버피테스트를 실시한 결과 남녀 집단 모두 훈련 전에 비해 훈련 후에 횡수 증가를 보였다고 보고하였다. 그러나 Kim [22]은 플라이오메트릭 트레이닝이 훈련강도가 매우 높아 훈련 간 활동근과 관절에 상당한 부하를 소화해 내야 하고 연속적인 동작이나 민첩한 방향전환 등에 다관절의 협응을 요구하는 움직임을 통해 관절 주변의 인대나 건에 상당한 부담을 초래한다고 하였다. 따라서 플라이오메트릭 트레이닝은 환자나 부상선수들에게 재활을 목적으로 사용하기에는 한계가 있는 단점이 있다.

tDCS를 적용하여 속도와 기능향상에 관한 연구로 Fan et al. [23]은 두 그룹의 정상성인을 대상으로 속도와 정확도를 알아보는 학습 패러다임을 사용하여 손 쥐기 작업의 운동학습을 촉진하기 위해 일차운동영역(M1)에 tDCS군과 허위자극적용군을 적용하고 과제를 수행하였다. 그 결과 양극 tDCS군은 허위자극군에 비해 메트르놈 속도와 정확도 기능 향상에 영향을 미쳤다고 보고하였다.

Lee [24]의 연구에서는 tDCS군과 일반 재활치료군으로 나누어 상지 기능을 평가하여 자극 후를 비교하였다. tDCS군에서 FMA의 어깨관절, 팔꿈치관절, 손 기능 평가 점수가 향상되었고 상지기능평가 항목 중 먹는 동작의 수행시간, 무겁고 큰 물건을 옮기는 수행 시간에서는 일반 재활치료군에 비해 tDCS 적용 군에서 수행시간에 대하여 효과적이라고 보고하였고, tDCS의 적용 군에서 나타난 유의한 차이는 정확한 동작과 동작을 수행하는 데 필요한 힘이 향상된 것으로 보았다.

또한 Ko [25]는 뇌졸중으로 인한 편마비 환자 8명을 대상으로 뇌가 소성에 영향을 미치는 다양한 말초전기자극과 중추전기자극의 결합을 통해 반복적인 움직임 훈련 전후에 손가락의 기능적 움직임에 미치는 효과를 알아본 결과 단일 tDCS 자극 후 무자극군에 비해 손가락 움직임의 반응 속도가 단축되었다. 그러나 전기자극 후 손가락 움직임 능력 평가에서 전기자극 직후 손가락 움직임 능력은 시냅스의 유효성이 장기적으로 증강하는 장기기억강화(long term potentiation, LTP)와

같은 효과를 기대할 수 없는 일회성 자극이라는 특성에 대부분의 결과에서 자극 간의 유의미한 차이를 밝힐 수 없었다고 하였다. 연속된 tDCCS 적용은 감각, 운동이나 인지적 영역에 영향을 주어 시냅스후연접(postsynaptic junction)의 지속적인 변형에 기여하여, 반복적인 자극에 의해 시냅스의 유효성이 장기적으로 증강하는 장기기억강화(LTP)와 같은 효과로 나타난다고 추정하고 있다고 보고되었다[1].

Tanaka et al. [26]의 연구에 따르면 만성 편마비 뇌졸중 환자를 대상으로 양극 경두개직류자극을 병변쪽 대뇌피질 하지 운동영역에 자극하였을 때 가짜 자극을 주었을 때에 비해 마비쪽 무릎관절 펌 근력이 향상되었다고 하였다. 그의 주장에 뒷받침하여 Kim [27]의 연구에서도 또한 병변쪽 대뇌피질 하지 운동영역에 양극 경두개직류자극을 시행 후 무릎관절 펌근력이 유의하게 증가되어 하지근력 향상에 영향을 효과적이었다고 하였으며 덧붙여 근력 증가로 인해 균형능력 또한 향상되었다고 보고하였다.

Manji et al. [28]은 뇌졸중 환자를 대상으로 보행 기능 회복에 대한 복합 요법 체중 지원 디딜 방아 훈련과 tDCS의 효과를 연구한 결과, tDCS가 허위자극군에 비교하여 보행 속도 및 적용 가능한 보행 능력을 크게 개선하였다고 보고하는 등 여러 연구에서 tDCS가 신체의 기능 회복을 위한 도구로 사용됨을 밝히고 있다.

본 연구에서 경두개직류자극군에서 허위자극군보다 근수축 반응 시간이 단축되고 사이드 스텝과 버피테스트에서의 횡수가 증가된 것은 선행연구들에서 보고된 바와 같이 경두개직류자극이 운동관련 뇌결절 흥분성에 영향을 미쳐 하지의 운동피질영역이 활성화되어 근수축 속도와 반사 속도를 높여 전기자극 직후에 민첩성을 향상시키는 데 도움이 된 것으로 생각된다.

그러나 본 연구의 제한점으로는 연구 대상자들이 실제 스포츠 선수들이 아닌 일반인이라는 점이며, 1회 전기자극에 의한 전기자극 직후의 변화라는 점이므로 변화의 유지시간이 짧을 수 있다는 제한점이 있다. 또한 경기력을 향상시키기 위한 다양한 요소 중 민첩성 외에 나아가 순간의 정확성 향상과 지속 효과에 대한 후속 연구가 필요하다고 생각된다.

결론

경두개직류자극이 정상 성인의 넙다리곧은근 앞정강근, 반힘줄근, 장딴지근의 근수축 반응시간을 빨라지게 하고 사이드 스텝과 버피테스트에서 횡수를 증가시킨 것으로 나타나 전기자극 직후에 하지의 민첩성을 향상시키는 데 도움을 준 것으로 생각된다. 따라서 본 연구는 스포츠 손상환자의 초기 민첩성 훈련과 관련한 분야에서 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

REFERENCES

1. Nitch MA, Paulus W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *J Physiol* 2000;527(3):633-639.
2. Liebetanz D, Nitch MaA, Tergau F, Paulus W. Pharmacological approach to the mechanisms of transcranial DC-stimulation-induced after-effects of human motor cortex excitability. *Brain* 2002;125(pt10): 2238-2247.
3. Kiernan MC, Bostock H. Effects of membrane polarization and ischaemia on the excitability properties of human motor axons. *Brain* 2000;123(12):2542-2551.
4. Lim YE. Effect of hand function and cerebral motor area activity by transcranial direct current stimulation (tDCS) [dissertation]. Dongshin University; Korea, 2009.
5. Choi YW. Effect of transcranial direct current stimulation according to the electrode site on the activity of upper extremity in chronic stroke patients [dissertation]. Daegu University; Korea, 2015.
6. Song HS. The effect of transcranial direct current stimulation combined with task-related training on muscle activity and gait ability in chronic stroke [dissertation]. Dongshin University; Korea, 2011.
7. Moon KS, Kim HJ, Son GH, Kim SH. Effects of transcranial direct current stimulation on balance and lower extremity muscle activation for elderly women. *Korea Entertainment Industry Association* 2015; 15(19):129-135 (Korean).
8. Kown YH, Kim CS, Jang SH. Cortical activation in the human brain induced by transcranial direct current stimulation. *J Korean Soc Phys Ther* 2009;21(4):73-79 (Korean).
9. Bae SJ, Jeong WS, Lee HG, Kim KY. Effect of tDCS stimulation for improving working memory on stroke patients' EEG variation. *Korea Cont Soc* 2012;12(7):261-272 (Korean).
10. Yu SH. The Effect of tDCS and motor learning training on cognition and neurological recovery of rats with Alzheimer's disease [dissertation]. Dongshin University; Korea, 2013.
11. Hwang KK, Lee JW. Effect of applying tDCS by inactive electrode placement to cognitive response on stroke patients. *J Korean Acad Clin Elec* 2013;11(1):31-38 (Korean).
12. Lee JW, Yoon SW, Park WS, Heo M, Lee DG, Jeong SK. Effects of the electrode type on N100 and P300 in tDCS applications. *J Phys Ther Sci* 2014;26(9):1441-1443 (Korean).
13. Kim SB, Kim SJ. Application of transcranial direct current stimulation (tDCS) - as a rehabilitation tool to patient after stroke. *Korean J Phys Educ* 2017;56(1):153-166 (Korean).
14. Lee SK. Validity of side step test as a measure of agility [dissertation]. Sungkyunkwan University; Korea, 2002.
15. Kown H. The effects of weight training on power, agility and performance in the squash players. *J Sport Sci* 2011;23:103-119 (Korean).
16. Heo J, Son BR. Training for strengthening primary school students' power and agility and effects. *Korean Soc Sport Sci* 1999;8(2):669-682 (Korean).
17. Kown EC, Park JS, Lee MG. The effect of plyometric training on agility and react instantly according to plyometric training for 12weeks; (Intellectual Disability). *AJMAHS* 2017;7(6):351-360 (Korean).
18. Kim DJ, Ahn BK, Yoon H, Kim SH. Effects of plyometric training on cardio-respiratory fitness, isokinetic leg strength, power, agility, and blood fatigue materials in high school judo players. *J Korean Alliance Martial Arts* 2011;13(2):235-247 (Korean).
19. Myeong TS. Study on effects of plyometric training on jump dynamics by load [dissertation]. Kookmin University; Korea, 2014.
20. Choi DW, Kown JM, Yeom DS, Cho BJ. Effects of plyometric training on the power and agility of basketball players. *Korean J Phys Educ* 2001;40(2):749-758 (Korean).
21. Kim HD, Kim DJ, Kwak YS. The differential effects of plyometric training and weight training on muscular power, agility and maximal muscular strength of the male and female high-school throwers. *Korean Soc Life Sci* 2009;12(19):1821-1828 (Korean).
22. Kim JM. Effect of plyometric exercise program on muscle activity of the lower extremities and physical fitness of elementary school students [dissertation]. Daegu University; Korea, 2012.
23. Fan J, Voisin J, Milot MH, Higgins J, Boudrias MH. Transcranial direct current stimulation over multiple days enhances motor performance

- of a grip task. *Ann Phys Rehabil Med* 2017;60(5):329-333.
24. Lee DG. The effects of the tDCS for a change of upper limb function and cortical excitability in chronic stroke patients [dissertation]. Dongshin University; Korea, 2010.
25. Ko AR. Effects of combined peripheral electrical stimulation and anodal transcranial direct current stimulation (tDCS) on finger movements in stroke patients [dissertation]. Yonsei University; Korea, 2009.
26. Tanaka S, Takeda K, Otaka Y, KIta K, Osu R, Honda M, et al. Single session of transcranial direct current stimulation transiently increases knee extensor force in patients with hemiparetic stroke. *Neurorehabil Neural Repair* 2011;25(6):565-569.
27. Kim YU. The effect of tDCS on the postural stability and strength of lower extremity in hemiplegic stroke patients [dissertation]. Chungnam National University; Korea, 2013.
28. Manji A, Amimoto K, Matsuda T, Wada Y, Inaba A, Ko S. Effects of transcranial direct current stimulation over the supplementary motor area body weight-supported treadmill gait training in hemiparetic patients after stroke. *Neurosci Lett* 2018;662(1):302-305.