



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

체육학 석사학위 논문

비침습뇌자극의 형태에 따른
속련도별 내적타이밍 훈련이
외적타이밍 과제 수행에 미치는 영향

2016년 2월

서울대학교 대학원

체육교육과

서혜진

비침습뇌자극의 형태에 따른
숙련도별 내적타이밍 훈련이
외적타이밍 과제 수행에 미치는 영향

지도 교수 김 선 진

이 논문을 체육학 석사 학위논문으로 제출함
2015년 10월

서울대학교 대학원
체 육 교 육 과
서 혜 진

서혜진의 체육학 석사 학위논문을 인준함
2015년 12월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국문초록

비침습뇌자극의 형태에 따른
숙련도별 내적타이밍 훈련이
외적타이밍 과제 수행에 미치는 영향

서 해 진
서울대학교 대학원
체육교육과

본 연구는 비침습뇌자극의 형태와 숙련도에 따른 내적타이밍 훈련이 외적타이밍 과제 수행에 어떠한 변화를 가져오는지에 대하여 알아보았다. 연구에 참여한 피험자는 서울시 소재의 S대학교 일반 대학생 14명(평균=24.35세)과 수원시 소재의 S' 대학교 야구선수 14명(평균=21세)으로 근육 및 신경학적 손상이 없고 오른손이 우성인 피험자를 대상으로 구성되었다. 피험자들은 숙련자 2그룹[숙련자A(anode;양극자극), 숙련자B(sham;무극자극)]과, 비숙련자 2그룹[비숙련자C(anode;양극자극), 비숙련자D(sham;무극자극)]으로 나뉘어 실험에 참여하였다. 이 중 그룹 A와 C는 경두개직류전기자극(tDCS)을 통해 15분간 2mA 강도의 양극자극이 주어진 후 내적타이밍 훈련을 시행하였다. 그룹 B와 D의 경우, tDCS의 양극자극을 5초간 적용하고 자동 소멸되는 방식으로 피험자가 이를 알지 못하도록 거짓자극(sham)을 적용하였다.

모든 피험자는 과제 수행 전 외적타이밍 반응시간을 측정하였고, 2주 후 tDCS를 착용한 상태에서 내적타이밍 훈련을 이틀에 걸쳐 받았다. 내적 타이밍 훈련이 끝난 이틀 째, 피험자들은 10분의 휴식을 가졌고 이후 외적 타이밍 과제 수행을 측정하여 외적타이밍의 사전-사후 반응시간 측정결과를 비교 분석하였다. 측정변인은 외적타이밍 과제 수행의 정확도 변화와 일관성 변화 그리고 내적타이밍의 정확도 변화로 구성되었다.

분석결과, 각각의 tDCS의 자극 형태가 그룹간의 타이밍 과제의 정확성과 일관성에 영향을 미쳤다는 유의한 수준의 변화는 보기 어려웠다. 그러나 숙련도에 따른 타이밍 과제의 정확성과 일관성의 변화를 가져올 수 있었고, 비숙련자가 숙련자보다 tDCS(양극)의 효과가 더 크다는 것을 알 수 있었다. 또한 피험자들은 tDCS의 자극에 따라 내적타이밍과제에서 정확성의 유의한 차이를 보였으며, tDCS의 양극(anode)을 적용한 그룹에서 그렇지 않은 거짓자극을 적용한 그룹(sham)보다 정확성을 더욱 향상시키는 효과를 보였다. 하지만 tDCS를 적용한 내적타이밍의 정확성 훈련의 효과는 외적타이밍의 정확도 향상에 큰 영향을 미치지 않았다.

주요 용어 : 비침습뇌자극, 경두개전기자극장치(tDCS), 소뇌(cerebellum), 숙련자, 비숙련자, 양극자극(anode), 무극자극(sham)

학 번 : 2013-23393

목 차

I. 서론	1
1. 연구의 필요성	1
2. 연구목적	6
3. 연구가설	6
4. 연구의 제한점	7
5. 용어의 정의	7
1) 내적타이밍(internal timing)	7
2) 외적타이밍(external timing)	8
3) 두뇌타이밍(temporal process; 시간처리)	8
4) 인터랙티브 메트로놈(interactive metronome)	8
5) 경두개직류전기자극(transcranial direct current stimulation; tDCS)	9
II. 이론적 배경	10
1. 신경과학적접근	10
1) 비침습뇌자극(non-invasive brain stimulation)	10
2) 운동관련 피질 활성화도	12
3) 뇌의 재조직화와 운동타이밍	13
4) 두뇌 타이밍 처리	14
2. 운동과 타이밍	15
1) 타이밍의 개념	15
2) 타이밍과 리듬, 템포	15
3) 타이밍 예측	16
4) 타이밍 전략	17
3. 운동학습의 개념과 이론	18
1) 운동학습의 개념	18
2) 운동학습의 이론적 설명	19
4. 운동숙련	20
1) 운동숙련의 정의	20

2) 숙련자-비숙련자 연구	20
5. 운동의 정확성	21
1) 운동의 정확성과 일관성의 개념	21
III. 연구 방법	23
1. 연구대상	23
2. 실험도구 및 측정방법	24
1) 사전·사후검사	24
① 외적타이밍 반응시간 속도계	24
2) 내적타이밍 훈련	26
① 경두개직류전기자극(transcranial Direct Current Stimulation)	26
② 내적타이밍 학습훈련-인터랙티브 메트로놈(Interactive Metronome)	27
3. 실험절차	29
1) 대상자 선정	29
2) 사전측정	29
3) 그룹할당	30
4) 훈련(내적타이밍)	30
4. 실험설계	31
5. 자료분석	32
1) 절대오차	32
2) 가변오차	32
6. 통계처리	33
IV. 연구 결과	34
1. 외적타이밍 반응시간	34
1) 단순반응시간(평균과 표준편차)	34
2) 외적타이밍 과제 수행의 정확성	36
3) 외적타이밍 과제 수행의 일관성	40
2. 내적타이밍 반응시간	42
1) 단순반응시간(평균과 표준편차)	42

2) 내적타이밍 과제 수행의 정확성	45
V. 논의	46
1. tDCS의 자극 형태에 따른 외적타이밍 과제 수행의 변화	47
1) 정확성(반응시간오차)	48
2) 일관성(가변오차)	50
2. tDCS의 자극 형태에 따른 내적타이밍 훈련의 변화	51
1) 정확성(반응시간오차)	51
3. 종합논의	52
VI. 결론 및 제언	54
1. 결론	54
2. 제언	55
1) 연구대상 측면	55
2) 연구과제 측면	56
3) 실험도구 및 측정방법 측면	56
4) 연구절차 측면	56
5) 연구분석 측면	57
참고문헌	58
Abstract	66

표 목차

표 1. 피험자의 특성	23
표 2. 실험구조	25
표 3. 실험에 사용된 경두개직류전기자극(tDCS) 장치의 세부 설정	26
표 4. 실험설계	31
표 5. 불빛자극의 이동속도에 따른 반응시간오차의 평균과 표준편차(사전)	34
표 6. 불빛자극의 이동속도에 따른 반응시간오차의 평균과 표준편차(사후)	35
표 7. 각 그룹별 사전사후 시간오차의 독립 이표본 t검증 결과	37
표 8. 외적타이밍 사전 사후의 반응시간오차에 대한 이원변량분석 결과	37
표 9. <표8>에 대한 상호작용이 없는 이원배치분산분석의 결과	38
표 10. <표9>에 대한 추정값의 결과	38
표 11. 외적타이밍 사전-사후 반응시간 오차에 대한 반복측정의 의한 이원배치 분산 분석 결과	39
표 12. 각 그룹별 사전 사후 일관성의 독립 이표본 t검증 결과	40
표 13. 외적타이밍 사전 사후 반응시간 편차에 대한 이원변량분석 결과	41
표 14. 외적타이밍 사전 사후 반응시간 편차에 대한 이원배치분산분석 결과 ..	41
표 15. 내적타이밍 훈련의 기술통계량	44
표 16. 내적타이밍 Day1, Day2의 반응시간 오차에 대한 이원배치분산분석 결과 ·	45
표 17. <표16>에 대한 추정값의 결과	45

그림 목차

그림 1. 타자의 스윙 속도와 정보처리 시간의 관계	17
그림 2. 반응시간속도계	24
그림 3. 외적타이밍 반응시간 측정(앞)	24
그림 4. 외적타이밍 반응시간 측정(옆)	25
그림 5. 경두개직류전기자극(tDCS)	27
그림 6. tDCS 부착위치	27
그림 7. 버튼 트리거	28
그림 8. 탭매트(무선)	28
그림 9. MCU	28
그림 10. 소프트웨어	28
그림 11. 내적타이밍(IM) 훈련모습	28
그림 12. 실험절차	29
그림 13. 외적타이밍 전체반응시간	35
그림 14. 외적타이밍 사전-사후 일관성의 변화	42
그림 15. 내적타이밍 훈련 결과표	43
그림 16. 그룹별 사전-사후 전체반응오차시간의 변화	48
그림 17. 그룹별 사전-사후 일관성의 변화	50
그림 18. 반응시간 오차의 향상도 (내적타이밍)	51

I. 서론

우리는 인생 전반에 걸쳐 물건을 잡는 것, 말하는 것, 먹는 것 등 일상적인 생활에서 행해지는 가장 기본적인 동작부터 특정한 스포츠의 숙달된 동작에 이르기까지 다양한 운동기술들을 이용하며 살아간다(Ungerleider, Doyon & Karni, 2002). 이러한 운동기술들은 과제의 복잡성이 증가함에 따라 학습의 양을 증가시키고 반복적인 연습으로 정교화 시키는 과정이 필요하다. 이때, 운동 과제에 대한 지속적인 경험과 다양한 학습방법을 적용하여 경제적이고 효율적인 운동학습 방법들이 연구되어야 한다.

1. 연구의 필요성

자신이 좋아하는 사람과 길을 걸을 경우, 우리는 사지움직임의 타이밍을 조정하여 옆 사람과의 걷는 속도를 맞추려 한다. 이처럼 타이밍은 신체요소가 지각하는 대로 일정한 시간적 구조를 만들어내는 움직임이라 할 수 있다. 이러한 움직임은 운동행동을 설명하기 위한 주요개념으로써, 운동수행의 성공과 실패를 결정짓는 중요한 요소이다. 또한, 타이밍은 움직임 동작의 자연스러움에 영향을 미치는 요인이 되며 특정 신체움직임이 가지는 시간적인 조화를 의미한다(Zanone & Kelso, 1992). 즉, 타이밍이 조화롭다는 것은 적절한 시기에 정확한 목표 위치를 탐색하여 움직이는 물체를 정확하게 잡거나 맞추고, 신체의 여러 분절을 통해 연속적으로 움직일 수 있는 능력이 뛰어나다는 것을 말한다(김선진, 2010). 타이밍은 골프의 스윙에서처럼 우리가 원하는 순간에 신체분절의 위치를 맞추는 동작자체의 시간적 구조와 날아오는 공을 정확하게 타구하는 동작의 목표물 일치구조라는 각기 다른 두 가지 제어 과정에 근거한다. 동작자체의 시간적 구조는 내적 타이밍(internal timing) 또는 상대타이밍(relative timing 또는 phasing)이라

하며, 이동하는 물체의 위치를 미리 예측하여 행동을 일치시키는 것은, 외적타이밍(external timing), 또는 일치타이밍(coincident timing)이라고 한다 (Wollstein & Abernethy, 1988).

기본적 시간 구조를 나타내는 내적 타이밍 기술은 동작속도 또는 동작거리와 관계가 없는 리듬(rhythm)과 템포(tempo)에 의해 많은 영향을 받는다. 리듬은 특정 동작의 시간적, 공간적 궤적으로 반복적인 움직임에 의해 만들어지는 패턴을 의미하며, 템포는 동작이 일어나는 전체시간에 따른 속도라고 볼 수 있다. 운동수행 시, 우리는 각자의 고유한 템포를 가지고 있는데 외부적인 현상에 따라 그 고유의 템포가 흐트러지게 되면 시간적 순서에 따라 이루어져야 하는 동작 또한 무너지게 된다. 그렇기 때문에 정확한 타이밍으로 동작을 수행하기 위해서는 리듬과 템포의 적절한 상보적 관계가 필요하다. Jagacinski 등(1997)의 젊은 성인과 노인의 골프 정확도를 비교하는 연구에서는 두 집단의 스윙 리듬과 템포의 차이에 대해 주목하며 노인 또한 템포훈련과 리듬훈련을 통해 골프스윙의 정확도를 향상시킬 수 있다고 보고하였다. 또한 템포훈련은 스윙 속도를 개선시키고 리듬훈련은 스윙속도와 주기를 조정하는 것으로 내적타이밍 훈련의 이점을 보고하였다.

반면 외적 타이밍의 경우, 날아오는 공을 정확한 순간에 맞추어 볼과 라켓이 동시에 접촉하도록 하는 것과 같은 시간적, 공간적 일치를 말한다. 외적타이밍 훈련은 지속적으로 변화하는 환경 속에서 다양한 연습의 기회를 가질 수 있으며, 실제상황과 가장 비슷한 환경적 특성에서 훈련하기 때문에 시각적 학습 효과가 뛰어나다. 또한 이동하는 시각적 목표물에 대한 운동반응의 협응(coordination)을 요구하는 훈련방법으로 외적 타이밍 훈련의 이점을 보고 하였다(Maman, Gaurang & Sandhu, 2011). 하지만, Kida 등(2005)은 외적타이밍 훈련으로 본 과제 타이밍은 향상되었지만, 근본적인 단순 타이밍 과제에서는 향상됨을 보이지 않았다는 연구결과를 제시하며 외적타이밍 훈련의 제한점을 보고하였다. 또한, 야구의 타격과 같이 고충격(high-impact training)을 반복적으로 학습하는 경우 신체의 과도한 사용으로 인한 상해를 가져올 수 있으며, 테니스와 같은 라켓을 이용하는 경우 반복

적인 내전과 외전 동작을 통해 신체분절 부위에 부하가 가해질 수 있다. 따라서, 운동수행의 과정에서 부상을 방지하고 환경적 요구에 일치하기 위한 효과적인 방법의 타이밍 운동학습이 필요하다.

운동학습은 운동기술을 수행하는데 필요한 개인능력의 내적인 과정 변화라고 정의할 수 있다(Schmidt & Lee, 2005). 김선진(2010)에 의하면 이러한 내적인 변화를 통해 학습자가 인식하지 못하는 유용한 정보를 얻을 수 있고, 신경학적 기전의 변화 또한 이루어져 자발적인 협응 동작을 할 수 있도록 해준다고 보고하였다. 이는 신체의 구조적인 변화를 가져오는 내적 타이밍 훈련에서도 적용 될 수 있는데, 동작의 근본적인 심층구조(deep structure), 즉 내적구조의 변화를 이끌어 낼 수 있다. Rubia와 Smith(2004) 또한 반복적인 내적 타이밍 훈련을 통해 두뇌 타이밍(시간처리, temporal processing)을 개선하며, 신체의 통상 협응력과 집중력에서 개선을 보인다고 보고 하였다.

내적 타이밍 학습의 훈련프로그램인 인터랙티브 메트로놈(interactive metronome; IM)은 특허 받은 훈련 프로그램으로써 지속적인 템포에 맞춰 사지를 움직이는 일련의 타이밍 훈련 프로그램이다. 내적타이밍 학습인 인터랙티브 메트로놈은 각 동작 후 즉각적으로 주어지는 움직임과 박자간의 시간적 오차 피드백을 지속적으로 제공해주며 타이밍과 리듬을 수정 가능하게 하였다. 이 훈련을 통해 타이밍 기술이 개선되고 집중, 기억, 읽기 및 운동기술 또한 개선 될 수 있다고 보고하며 훈련의 이점들을 주장하였다(Shaffer et al, 2001). 이러한 내적 타이밍 훈련은 근본적인 타이밍 기술의 향상을 가져옴으로써 외적 타이밍 훈련의 대체학습 방법으로 효과적일 수 있다.

운동학습을 주제로 한 연구들은 운동기술을 습득하는 과정들을 규명하고 관련된 결과들을 실제 현장에 적용하는 것을 목적으로 한다. 뿐만 아니라 철학, 생리학, 심리학 및 공학 등과 같은 인접학문분야에서도 인간의 운동 학습과정에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그 중, 신경과학적 방법을 접목한 연구들이 인간 움직임의 원리와 운동학습의 현상에 대한 새로운 접근을 시도하였다. 신경과학적 방법을 접목한 다양한 방법 가운데 비침습

뇌자극장치의 일종인 경두개직류전기자극장치(transcranial Direct Current Stimulation; tDCS)는 연구의 목적에 따라 자극 조건을 통제함으로써 대뇌 피질의 활성화 정도를 변화시켜주는 장치로 쓰인다. Kidgell 등 (2013)은 tDCS의 뇌 자극이 운동 수행 및 운동학습에서 직간접적인 영향을 준다는 사실을 증명하였고, 운동과제를 보다 빠르고 정확하게 수행할 수 있다고 보고하였다(Boggio, Zaghi & Fregni, 2006). 이와 같이, 신경자극을 통한 연습은 운동피질의 뇌 재조직 양상에 변화를 가져올 수 있고, 이러한 변화로 복잡한 과제의 속도와 정확성이 증가한다는 연구결과들이 나오며, 피질의 재조직 양상에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔다(Karni, Meyer, Jeppard, Adams, Turner & Ungerleider, 1995; Petersen, Mier, Fiez, & Raichle 1998; Schweizerem, Braun, Fromm, Wilms, & Birbaumer, 2001; Ungerleider, Doyon, & Karni, 2002). 그 예로, tDCS가 예측타이밍 학습에 영향을 미친다는 연구에 따르면, 피험자가 시간을 예측하는 동안에 뇌섬엽(insula), 중간 측과 후측 대상피질(middle/posterior cingulate cortex), 접두엽(frontal lobe), 측두엽(temporal lobe), 선조체(striatum), 소뇌(cerebellum) 등을 포함한 많은 영역에서 뇌의 재조직 양상이 나타난다고 보고하였다(박지원 등, 2002). 그럼에도 불구하고 뇌처리과정에 대한 확고한 이론을 정립하지 못하는 것은 운동학습 시 뇌 활성화 정도가 증가하는지 감소하는지에 대한 논란이 있기 때문이다(Petersen et al, 1998; Toni et al, 1998). 이는 뇌 활성화가 학습에 의한 활성화인지 아니면 수행 시 변화되는 신경생리학적 움직임에 의한 것인지에 대한 확고한 모델이 없기 때문이다(Leonard, 1998).

따라서, 본 연구는 피질 활성화만을 근거로 한 기존연구의 제한점을 보완하기 위해 타이밍 운동관련 피질부위에 인위적으로 활성화 조절을 주어 운동관련 피질부의 활성화 정도에 따라 운동과제 수행에 어떠한 영향을 미치는지 알아보았다. 기존 연구를 바탕으로, 타이밍 학습에 관여하는 소뇌(cerebellum)에 비침습뇌자극을 제공하고 tDCS의 자극형태에 따라 숙련자와 비숙련자의 수행 및 훈련에 어떠한 차이가 있는지 알아보았다. 이후, 측정결과를 바탕으로 타이밍 정확성을 나타내는 절대 타이밍 오차(absolute error)와 일관성에 관여하는 가변오차(variable error)를 산출하여 분석하였

다.

본 연구결과를 토대로 피질 활성도의 특성에 따라 적용될 수 있는 타이밍 학습방법을 제시하고, 소뇌의 병변으로 인해 운동학습에 장애가 있는 환자에게 적용할 임상적인 기초 지식을 구축하는 것을 목적으로 하였다.

2. 연구 목적

본 연구의 목적은 비침습뇌자극(transcranial direct current stimulation; tDCS)의 자극조건에 따른 그룹별 내적타이밍 훈련이 외적타이밍 과제수행에 미치는 학습효과를 보고자 한다.

3. 연구 가설

본 연구의 목적을 달성하기 위하여 다음과 같은 연구가설을 설정하였다.

- 1) 경두개직류전기자극(tDCS)의 자극 조건에 따른 그룹별(숙련자, 비숙련자) 내적 타이밍 훈련은 외적타이밍 과제 수행에 미치는 영향에 차이가 있을 것이다.

① 양극(anode)자극(대뇌피질의 활성도를 증가)을 받은 그룹의 내적 타이밍 훈련은 외적타이밍 과제 수행의 정확도를 나타내는 절대타이밍오차(AE)를 줄일 것이다.

② 양극(anode)자극을 받은 그룹의 내적타이밍 훈련은 외적타이밍 과제 수행의 일관성을 나타내는 가변오차(VE)를 줄일 것이다.

- 2) 경두개직류전기자극(tDCS)의 자극 조건에 따른 내적 타이밍 훈련은 시기에 따라(첫째 날, 둘째 날) 그룹별로 정확도 차이가 나타날 것이다.

4. 연구의 제한점

본 연구는 다음과 같은 제한점을 가진다.

- 1) 실험 참가자는 20대 대학생 피험자로 한정하였다.
- 2) 연구에 참여하는 대상자의 타이밍 기술 수준은 다양할 수 있고, 오른손이 우세측(dominant hand)인 피험자로 한정하였다.
- 3) 내적 타이밍 훈련에서의 집중은 개인의 심리, 생리적인 요인들과 기온, 습도, 조도와 같은 주위 환경에 영향을 받을 수 있다.

5. 용어의 정의

본 연구에서 사용하게 될 용어의 개념은 다음과 같다.

1) 내적타이밍(internal timing)

내적 타이밍은 동작속도 또는 동작거리와는 상관없는 기본적인 시간구조로 동작 유형의 리듬 또는 템포를 말한다. 예를 들어, 왈츠에서 템포의 속도를 빠르게 하든 느리게 하든 왈츠는 기본적으로 왈츠임 나타내는 것과 같이 동작의 흐름을 나타내는 근본적인 심층구조(deep structure)를 내적 타이밍이라 한다(Schmidt, &Young, 1991). 본 연구에서는 리듬과 템포 훈련으로 인터랙티브 메트로놈의 내적타이밍 훈련을 실시하였다.

2) 외적타이밍(external timing)

외적타이밍은 동작의 특정 위치와 물체를 하나의 지점에 일치 시키는 것을 말한다. 예를 들어, 테니스의 포핸드 스트로크와 같은 기능 수행 시, 포핸드 드라이브의 동작 준비자세, 허리를 비트는 피벗동작, 백스윙 동작, 동체의 이동, 포워드 스윙, 볼과 라켓의 접촉, 그리고 팔로우 동작을 모두 하나의 총체라고 본다면, 각각의 동작구간이 정확한 타이밍으로 조화를 이루어 정확한 타이밍에 라켓을 공에 접촉시켜야 성공적인 외적타이밍 운동수행이 가능하다(김선진, 2010). 본 연구에서는 예측타이밍 반응속도 측정기(Bassin Anticipation Timer, Lafayette Instrument Co.)를 이용하여 날아오는 불빛 자극을 불이라 가정하고, 정확한 타이밍에 스윙하는 것을 외적 타이밍 과제로 설정하였다.

3) 두뇌 타이밍(temporal processing; 시간처리)

인간의 뇌는 다양한 간격으로(1/1,000,000초, 1/1,000초, 초, 분, 시간의 단위 간격으로) 시간을 기록하며 인간의 행동을 유발한다(Mauk & Buonomano, 2004). 예를 들어, 어떤 일을 할 때 얼마동안 했는지, 자고 일어난 후 얼마나 지났는지, 점심 또는 저녁 식사 때까지 얼마나 시간이 남았는지를 지속적으로 두뇌가 인식한다(Lewis & Walsh, 2005).

4) 인터랙티브 메트로놈(interactive metronome)

인터랙티브 메트로놈은 반복적으로 내적타이밍을 맞추는 훈련도구로써, 훈련을 통해 정보기억력, 운동 협응력, 주의 집중력 또는 타이밍에 맞는 기능적 운동 패턴을 더욱 정확하고 효율적으로 움직이도록 도움을 주는 프로

그램이다. 인터랙티브 메트로놈은 트리거 감지기를 통해 실제동작과 비트 음과의 시간차이를 ms(밀리세컨드) 단위로 측정하여 타이밍 반응 속도에 따른 피드백을 제공한다. 본 연구에서는 이 장치를 내적타이밍 훈련으로 사용하였다.

5) 경두개직류전기자극(transcranial direct current stimulation; tDCS)

경두개직류전기자극은 비침습뇌자극의 기법중 하나로, 약한 전류의 공급을 통해 대뇌 피질의 활성도를 인위적으로 변화시키는 것으로 알려져 있다. 자극의 극성에 따라 신경세포들이 활성화 또는 비활성화 되는데, 양극자극(anode)은 일반적으로 신경세포의 막전위(membrane potential)를 활성화 시켜 대뇌피질의 활성도를 향상시키고, 음극자극(cathode)은 대뇌피질의 활성도를 감소시킨다(김석진, 2015). 본 연구에서는 tDCS의 효과를 알아보기 위해 타이밍관련 뇌 부위를 자극하여 그에 따른 운동양상의 변화를 알아보았다.

II. 이론적 배경

본 연구는 비침습뇌자극의 자극조건(anode, sham)에 따른 그룹별(숙련자, 비숙련자) 내적타이밍 훈련이 외적타이밍 과제 수행에 어떤 영향을 미치는지 알아보려고 하였다. 이와 관련하여 경두개직류전기자극(tDCS)의 효과검증에 대한 이론적 배경과 비침습뇌자극이 타이밍 훈련에 가져다주는 변화의 원인들을 살펴보고, 그 원인들이 앞으로의 운동학습 방법에 어떤 이론적 틀을 제공할 수 있는지 살펴보았다.

1. 신경과학적 접근

1) 비침습뇌자극(non-invasive brain stimulation)

새로운 패러다임으로 운동학습과 신경과학과의 접목을 통하여 인간의 움직임의 원리를 설명하려는 연구가 다양하게 시도되고 있다(Jantzen, Oullier, Marshall, Steinberg & Kelso, 2007; Jantzen, Steinberg & Kelso, 2009; Karni et al., 1998; Ungerleider, Doyon & Karni, 2002). 그 중, 경피적전기자극(transcranial electronic stimulation; TES)은 1세기 전부터 뇌의 기능과 구조를 발견할 수 있게 하였다(Sparing & Mottaghy, 2008). 하지만, 경피적전기자극은 마취되지 않은 뇌에 적용하여 피험자가 통증을 느끼면서 사용되지 못하게 되었다(Merton & Morton, 1980). 그에 따라 다른 비침습뇌자극 장치에 대한 연구가 활발히 진행되기 시작했고, 경두개자기자극(transcranial magnetic stimulation; TMS), 경두개직류전기자극(transcranial direct current stimulation; tDCS), 그리고 경두개교류자극(transcranial alternation current stimulation; tACS)등의 뇌 자극 장치가 널리 연구되기

시작하였다. Barker와 2명(1985)이 TMS가 인간의 대뇌피질 흥분도를 변화시키면서 그에 따른 움직임의 효과에 대해 소개하였고, 정신과적 질환에 대한 치료로 많이 사용된다고 보고하였다. 그 예로, Martin 등(2003)은 정상인과 뇌졸중을 대상으로 한 연구를 하였고, TMS가 운동기능의 향상 및 우울증의 치료로 효과적임을 밝혀냈다. 이렇듯 뇌 운동영역에 경두개자기자극(TMS)을 적용하면서 나타나는 효과들이 점차 밝혀지며, 전기자극장치는 신경가역성 연구를 위한 가능성 있는 분야로 대두되었다(Vine et al, 2006). 최근에는 경두개직류전기자극(transcranial direct current stimulation, tDCS) 장치가 뇌 활동 전위를 변화시키는 도구로 각광받기 시작했다. 이는 비교적 장소에 구애받지 않는 운동 상황에서도 착용할 수 있고, 양극(anode)과 음극(cathode)으로 나뉘어 대뇌피질 활성화를 조절한다. 낮은 강도의 양극은 대뇌 피질의 활성화를 증가 시키고, 음극은 활성화를 억제 시킨다고 보고되었다(Purpura & McMurty, 1965; Creutzfeldt et al, 1962). 활성화를 억제 또는 증가시킨 자극의 피질 활성화도는 60분-90분 이상 지속될 수 있으며(Antal, Boros, Poreisz, Chaieb, Terney & Paulus, 2008), tDCS는 자극의 형태와 전류의 세기, 자극의 기간을 선택적으로 조절할 수 있고, 그에 따라서 다른 효과를 볼 수 있다고 하였다(Nitsche 등, 2007). 하지만, tDCS를 가장 안정적이고 효율적으로 사용하기 위해서는 적용 전류의 강도를 자극면적당 $0.029\sim 0.08\text{mA}/\text{cm}^2$ 와 15-25분 사이의 전기 자극이 행동반응에 안전한 영향을 미친다는 연구가 보고되었다(Nitsche et al, 2008). Nitsche와 Paulus(2000)는 자극시간이 길수록 충분한 효과를 나타낼 수 있다고 보고하였으나, 이는 전극 아래 두피조직의 손상을 최소화하기 위해 알맞게 조절되어야 한다(Priori, 2003).

2) 운동관련 피질 활성화도(movement related cortical potential; MRCP)

인간을 대상으로 한 비침습뇌자극의 기능적 영상 연구에서는 뇌를 자극하여 뇌의 기능측정이나 회복할 수 있는 여러 가지 방법들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Kwon, Ko, Ahn, Kim, Song, Chang, Jang, & Lee, 2008). Karni 등(1995)은 운동을 지속적으로 수행하면서 가지는 운동 기술 습득이 신경가역성과 밀접한 관계를 가지며, 반복적인 연습을 통해 운동피질의 재조직 양상에 변화를 가져 온다고 보고하였다. 그 예로 연속적인 반응시간 과제에서 보완운동영역(supplementary motor area; SMA), 일차운동영역(M1), 담창구(putamen), 전운동영역(premotor cortex) 등으로 재조직이 일어났음을 보고 하였다(Honda 등, 1998).

운동영역에서는 tDCS의 적용으로 운동신경 활성화도의 변화를 측정하기 위해 MEP, TMS, TES, EEG 등을 사용하였으며, 많은 신경생리학적 평가에서 TMS와 신경영상화(neuroimaging)가 사용되고 있는 실정이다(Kwon et al, 2008). Smith와 Staines(2006)은 운동과 관련된 피질을 EEG로 관찰하면서 운동변화에 따른 활성화도의 일시적 변화를 확인하는데 유용한 도구로 사용된다고 보고하였고, 피질 변화를 통해 운동 준비와 실행 단계에서 활성화도의 변화가 나타난다는 것을 밝혀냈다. 운동 관련 전위(movement related cortical potential; MRCP)는 신체의 수의적인 움직임에 의해 나타나는 피질의 활성화로, EEG로부터 확인할 수 있고, 이는 음극 전위(negative potential; NP)와 양극 전위(positive potential; PP)로 나뉜다(Fang, Sieminnow, Sahgal, Xiong & Yue, 2001). 여기서 음극전위(NP)는 *bereitschaft potentials*(BP)와 *negative slope*(NS)로 구분되는데, BP가 수의적인 움직임에 음성전위를 띄게 되고, NS는 운동의 수의적인 움직임의 시작 전부터 피질의 활성화가 나타나 운동계획과 실행에 관여한다(Ball, Schreiber, Feige, Wagner, Lucking & Kristeva-Fagie, 1999). 따라서, BP는 인간의 움직임에서 나타나는 운동 준비 단계와 실행단계에서 피질활성화가 일어남을 알 수 있다(Kristeva-Fagie, Rossi, Feige, Mergner, Lucking, & Rossini 1997).

3) 소녀의 재조직화와 운동 타이밍

운동영역에서 중요한 역할을 담당하는 소뇌(cerebellum)는 운동협응과 움직임 조절을 조절하기 위해 모든 뇌 영역으로부터 정보를 입력받아 자세를 조절하고, 다양한 자극에 대하여 신체의 기능을 조절한다(Reichenbach et al, 1998). 또한 척수(spinal cord), 연수(medulla oblongata), 교뇌(pons), 중뇌(midbrain), 시상(thalamus), 대뇌피질(cerebral cortex)과 회로를 결성하여 복잡한 조절 및 되먹이기 작용(feedback action)을 통해 운동과 관련된 거의 모든 기능을 통합 조절하는 주요 중추이다(Morton & Bastian, 2004; Popesco et al., 2004). 또한, 소뇌는 내재적 기억의 형성, 기술학습과 유지 및 습관을 형성하여 조건화된 반응에 관여한다고 보고 하였다(Doyon, Song, Karni, Lalonda, Adams, & Ungerleider, 2002).

Spencer 등(2003)은 움직임을 연속동작과 불연속 동작으로 나누어 볼 때, 이 2가지 운동 작업은 소뇌가 연속적이고 리드미컬한 운동 초기의 타이밍 목표를 정할 때 간여하고, 불연속적인 운동 시에는 계속해서 운동시간처리에 간여한다고 보고하였다. 소뇌의 활성화를 연구한 Muak(2000)에 따르면, 쥐를 이용하여 운동타이밍 학습을 시켰더니 소뇌의 퍼킨제 세포(purkinje cell)에서 활성화를 가져왔고, 이 후 더 오랜 시간의 학습을 할 시에는 심부소뇌핵에 있는 이끼 섬유(mossy fiber)에서 가역적인 재조직이 일어난다고 보고 하였다. 이처럼, 소뇌는 타이밍을 결정하는데 있어 중요한 역할을 하지만 Nobre와 O ' Reilly(2004)는 타이밍과 관련된 인지 운동기능들이 소뇌가 아닌 전두엽-선조체고리와 관련이 있다고 보고하며 여전히 타이밍을 결정하는 뇌 부위에 대한 논란은 계속 되어왔다.

4) 두뇌의 타이밍 처리(temporal processing)

신경과학접근법을 강조하는 연구자들은 뇌의 기능에 대해 끊임없이 연구한다. 그 중, Mauk과 Buonomano(2004)은 인간의 두뇌는 내부의 시간을 처리하는 두뇌시계가 존재한다고 하였으며, 이 두뇌 시계는 천분의 1초, 백분의 1초, 초, 분 단위간격으로 시간을 기록하여 ‘시간처리(temporal processing)’를 한다고 보고하였다. 하지만, 두뇌타이밍이 시간을 계측한다는 구체적이고 실증적인 연구가 부족하다는 연구결과가 나오며, 역으로 내적인 흐름을 지각하는 기능 치료를 통해 두뇌 타이밍의 시간처리를 조작 가능하다고 보았다(Lewis & Walsh, 2005). Penton(1996)등은 반복적인 타이밍훈련을 통해 시간처리 능력을 높일 수 있음을 자극과 주의력훈련을 통해 증명하였다. 그 중, 청각피드백을 통해 내적인 흐름을 지각하여 타이밍을 맞추는 훈련 도구인 인터랙티브 메트로놈(IM)은 새로운 방법의 타이밍 훈련을 가능하게 하였다.

이 도구는 기능훈련을 위한 단순 인지 행위를 반복하는 것이 아니라 정밀한 시간단위로 매 리듬과 템포에 맞춰 실제 동작간의 차이를 지속적으로 피드백 받으며 인간이 내부의 시간을 정확히 처리할 수 있도록 하는 훈련 도구이다. 양손, 양발 그리고 손과 발의 협응을 통하여 일어나는 양측사지의 움직임을 일정한 리듬에 맞추는 것으로 구성되었다. 반복적인 리듬을 맞추는 이 훈련도구는 운동 타이밍뿐만 아니라 인지능력과 관련된 부위들도 제어를 받았음을 Rubia와 Smith(2004)는 fMRI를 사용한 연구를 통해 증명하였다. 그리고 이는 바다핵, 줄무늬체와 소뇌 등의 여러 뇌 영역이 모두 연결되어 일종의 네트워크를 이루고 있을 수도 있고 아니면 각각 다른 기능을 하는 별개일수도 있기 때문에 신경망의 위치에 대해서는 아직까지도 서로 다른 의견을 가지고 있다고 보고하였다(Rubia & Smith, 2004). 따라서, 인간이 살아가는데 있어 뇌의 모든 영역은 운동수행을 하는데 있어 매우 중요하게 작용한다.

2. 운동과 타이밍

1) 타이밍의 개념

운동기술을 효율적으로 수행하기 위해서는 시간과 공간적인 차원에서 요구되는 타이밍 수행이 정확하게 이루어져야 한다(김선진, 2010). 즉, 운동 타이밍은 스포츠 수행의 성공과 실패를 결정짓는 중요한 요소 중 하나로 적절한 시기에 적절한 목표물의 위치를 파악하여 운동기술을 수행 할 수 있어야 한다. 예를 들어, 공을 정확하게 타구해야 하는 탁구나 야구와 같은 종목의 경우 시간적, 공간적, 신체적 정보를 빠르고 정확하게 파악하는 것이 요구된다. 타이밍은 자신이 움직이는 동작자체의 시간적 구조를 말하는 데, 이때 동작 시 움직이는 신체분절의 특정위치와 목표물의 일치라는 두 요소에 의해 결정된다. 내적타이밍은 동작속도 또는 동작거리와 관계없이 기본적인 동작 유형의 리듬이나 시간적 구조를 말한다. 이것은 누군가와 함께 길을 걷기 위해서 옆 사람과의 속도를 맞춰 나가는 비교적 동작속도나 거리 또는 강도가 쉽게 수정되는 표면적 특성(surface feature)이라 할 수 있다(Schmidt, 1991). 이에 반해서, 외적타이밍은 운동의 주체와 객체사이의 시간적, 공간적 일치를 말한다. 예를 들어 각 동작 구간으로 나뉜 야구의 풀스윙(full swing)은 각 동작구간에 맞는 적절한 체중이동을 통해 조화롭게 움직일 수 있으며 볼을 정확히 쳐낼 수 있다.

2) 타이밍과 리듬, 템포

타이밍은 리듬(rhythm)과 템포(tempo)에 의해 많은 영향을 받는다. 리듬은 운동법칙에 따른 규칙적이고 반복적으로 만들어지는 시간적, 공간적 궤적을 나타내고, 템포는 움직임이 일어나는 동작의 전체속도로 나타낸다. 운동의 전체속도에서 리듬은 최대속도와 속도의 제로사이의 과정 중의 속도

변화를 의미하는데 이는 골프 스윙 중 아이언이 가장 높게 올라갔을 때, 백스윙 톱(back swing top)의 속도가 제로가 되고, 내려오면서 임팩트(impact)하는 순간, 즉 아이언이 가장 낮은 지점에서 최대속도가 되면서 제로속도와 최대속도 그 사이의 움직임을 리듬이라고 한다. 각 운동수행에서 리듬만큼이나 템포 또한 중요하게 작용하는데, 이는 개인마다 고유의 템포를 가지고 있다. 템포가 개인의 신체조건처럼 물리적 현상 등의 원인에 의해 흐트러지게 되면서 시간적 순서에 따라가야 하는 리듬 또한 무너지게 된다. 개개인의 운동수행에 대한 고유의 템포는 탁구, 야구, 테니스와 같은 스윙의 템포를 자신이 가진 신체적, 정신적 능력에 적합하도록 구사할 수 있어야 최상의 운동 수행을 할 수 있다. 또한, 각 스윙의 동작구간에 맞는 템포를 조절할 수 있어야 가장 적합한 수행을 해낼 수 있다.

3) 타이밍 예측

스포츠 상황에서 타이밍 예측은 운동수행을 성공적으로 해내기 위한 아주 중요한 요소이다. 다양한 속도로 날아오는 공을 정확하게 타구하기 위해 공이 날아오는 시간과 스윙속도를 일치 시켜야 타이밍을 성공적으로 ‘예측하였다’ 라고 볼 수 있다. 이러한 일치된 동작은 지각시스템과 동작시스템간의 통합을 통해 이루어지는데 (Fleury, Bard, Gagon & Teadale, 1992), 이는 연령, 성별, 기술수준, 자극 속도, 그리고 지각수준에 따라 예측 수행력이 달라질 수 있다고 하였다(Williams, Katene, & Fleming, 2002). 예측은 수용기 예측(receptor anticipation), 지각 예측(perceptual anticipation), 그리고 효과기 예측(effector anticipation)으로 분류할 수 있다. 먼저, 수용기 예측은 추적이 가능한 자극에 대한 예측을 말하고, 속도와 방향에 대한 정보가 매우 중요한 변인으로 작용한다. 반면에 지각예측의 경우, 자극을 추적할 수 없는 외적인 현상에 대한 예측을 뜻하며 자극이 나타나는 조건이나 형태를 판단하는데 중요한 역할을 한다. 효과기 예측은 자신의 움직임을 언제, 어떻게 실행할 것인가에 대해 결정하는 과정에서 나타나고 이는

숙련된 운동수행에서 중요한 역할을 한다(Poulton, 1957). 타이밍 수행은 이와 같은 형태의 예측과 밀접한 관련이 있으며, 다양한 환경 조건 속에서 발생하는 자극의 움직임에 대한 예측과 자신의 움직임에 대한 예측이 함께 이루어질 때 정확한 운동수행이 가능하다고 보았다(Fleury, Bard, Gagon & Teasdale, 1992).

4) 타이밍 전략



그림 1. 타자의 스윙 속도와 정보처리 시간의 관계(Schmidt와 Lee, 2005)

정확한 타이밍을 수행하기 위해서는 정보처리 시간을 확보하는 것이 유리하다. <그림1>은 투수가 시속 140km로 공을 던질 때 타자가 타격을 하는 상황을 나타낸 것이다. 투수의 손을 떠나 홈플레이트까지 도달하는데 걸리는 시간이 460ms이라고 예측하면, 타자의 스윙동작은 약 160ms이 되고 운동 명령이 이루어지고 근육에 전달되는데 걸리는 시간은 168ms이 소요된다. 이러한 측면에서 볼 때, 날아오는 공을 맞추기 위해 타자는 최소한 328ms안에 공의 궤적과 도착할 타이밍에 대한 판단을 종료해야한다. 반면, 스윙속도를 선수 B와 같이 140ms으로 빨리 스윙하게 되면 200ms의 부가적

인 탐색시간을 벌 수 있기 때문에 타자는 좀 더 좋은 공을 선별할 수 있다. 이처럼, 타이밍 수행 능력을 향상시키기 위해서 타자들은 자신의 스윙 속도를 빠르게 함으로써 투수가 던진 공을 보다 오랫동안 탐색하고 예측할 수 있어야 한다. 따라서, 타자들은 자신의 스윙 속도를 향상시켜 타격 지점에서 스윙하는데 걸리는 시간을 단축시키는 훈련이 필요고 정확한 스윙 동작을 안정적으로 할 수 있도록 각 분절 간의 적절한 협응 능력을 기르는 것이 중요하다(김선진 등, 2000).

3. 운동학습의 개념과 이론

1) 운동학습의 개념

인간은 컵을 옮기는 움직임부터 야구의 타격과 같은 복잡한 동작의 협응까지 수많은 움직임과 동작들을 학습하며 살아간다. 이러한 단순한 동작들은 수행의 복잡성에 따라 학습의 양이 달라 질 수 있고, 반복적인 학습을 통해 더욱 세련되어 지고 정교화 될 수 있다. 이와 같은 운동학습을 이해하기 위해서는 운동행동을 설명하려는 다양한 이론들은 살펴 볼 필요가 있다. 먼저 정보처리 관점에서는 운동과제를 수행하는데 필요한 정보들을 기억화체계에 도식화 하고 그것을 효율적인 도식으로 재구성해가는 과정을 의미한다. 반면에, 다이나믹 시스템 이론의 경우 운동 과제를 수행하기 위한 가장 효율적인 협응을 구성하고, 환경과 과제의 특성에 따라 적절하게 대처할 수 있는 능력을 향상 시키는 것을 의미한다. 그리고 생태학적 관점에서는 연습이나 경험을 통하여 지각 - 운동 활동영역 (perceptual-motor workplace)내에서 과제와 환경의 요구에 일치하도록 지각과 동작간의 협응을 향상시키는 과정이라 하였다(Newell, 1991). 이 이론들은 서로 공통적인 세 가지 특성을 가지고 있다. 첫째는 운동학습이 숙련된 운동수행을 위해

비교적 영구적인 능력의 변화이고, 둘째는 운동학습은 그 자체를 직접적으로 관찰하기 어려워 학습자의 반복수행을 통해서만 유추할 수 있다는 점이다. 셋째로, 성숙이나 동기로 인해 일시적으로 수행이 변화한 것은 학습이라 할 수 없다는 공통적 특징을 가진다(김선진, 2000).

2) 운동 학습의 이론적 설명

성공적인 운동수행을 위해서는 다양한 이론적 관점에서의 운동학습의 이해가 필요하다. 학습자는 과제의 특성에 따라 다양하게 변화될 수 있기 때문에 적절한 이론들의 특성을 상호 보완하여 운동학습을 이해하는 것이 필요하다. 인간의 운동행동은 중추적 표상의 의하여 발현된다는 정보처리적 관점에 의해 피드백에 근거한 운동학습과 운동 프로그램에 근거한 운동학습으로 나뉘어 설명될 수 있다. 먼저, 피드백에 의한 학습의 경우 중추신경계로부터의 운동명령에 관한 기억과 근육, 관절, 건 등의 신체의 내적정보를 통해 지속적으로 수정 과정을 기억하는 것으로 기억흔적과 지각흔적으로 나뉜다. 다음, 운동 프로그램에 근거한 운동학습의 경우 운동 프로그램을 통해 내려진 명령이 운동수행 중에 오류가 발생되어도 수정하지 않고 그대로 진행되는 것을 말한다. 이 두 가지 이론은 운동명령만을 강조하고 있고, 인간의 오류 수정에 관한 고려가 없었기 때문에 Schmidt(1975)는 운동 프로그램과 피드백을 같이 보완한 일반화된 운동 프로그램(generalized motor program)을 설명하였다. 일반화된 운동 프로그램은 동작의 순서를 의미하는 것으로 반응을 위해 선택된 동작단위를 순서대로 배열하는 과정이다. 또한, 개개의 근육이 운동 프로그램에 저장되지 않고 동작에 따라 가변적인 가변매개변수라고 정의한다(Whitacre, 2002 & Shea, 2000).

4. 운동숙련

1) 운동숙련의 정의

스포츠에서의 숙련(expertise)은 특정 영역의 과제로 지속적으로 뛰어나게 수행하는 것이자, 하나의 영역을 넘어서는 일관적인 우수성(the consistent superior athletic performance)이라 정의한다(김선진, 2010). 이러한 숙련은 단지 하나의 능력에서만 뛰어나는 것이 아니라 운동기술에 작용하는 다양한 요인에서 뛰어나다는 것을 말하는 것인데, 이는 생리적, 기술적, 인지적, 정서적 요인 등과 같은 많은 요인들이 포함되어 있다. 생리적 숙련의 경우 근섬유의 분포나 형태, 신체구조, 유전적인 요인 또는 후천적으로 다져진 유산소적, 무산소적 능력이 이에 포함 되고, 기술적 훈련의 경우 신체 각분절의 조화로운 협응으로 효과적인 움직임의 나타낼 수 있는 능력을 말한다. 인지적 숙련과 정서적 숙련의 경우 심리적 기술로 자극의 탐지와 시각탐색 전략, 움직임에 대한 예측, 효과적인 반응 산출의 능력이 뛰어나고, 운동수행을 통해 갖게 되는 느낌들을 정서적 조절을 통해 최상의 운동수행을 만들어 내는 능력이라 한다.

2) 숙련자-초보자 비교 연구

운동기술을 향상시키기 위한 목적으로 많은 연구자들이 숙련자와 초보자 간의 비교 연구를 통해 숙련의 움직임 특징을 밝혀내고자 하였다. 이러한 숙련자-초보자 접근 연구는 태권도(김충일, 2008), 테니스(Williams, Ward, Knowel, & Smeeton 2002), 야구(McPherson, 1993)와 같은 많은 과제에서 인지기술과 운동기술을 분석하였다. 이 연구들의 대부분은 숙련자와 초보자 간의 예측능력과 시각탐색전략, 또는 지각능력의 차이를 기술하며, 숙련자가 초보자보다 수행과 관련된 유용한 예측정보를 일관성 있게 추출 할

수 있고, 기술과 관련된 정보를 받아들이고 해석하는 능력이 숙련자에게서 더욱 뛰어난 특징을 보인다고 하였다(Borgeaud & Abernethy, 1987). 이러한 연구들의 방향은 학습과정에서 개개인의 특성과 과제, 환경간의 밀접한 상호작용 속에서 이루어진다고 보고 있으며, 운동숙련자들이 과제와 환경에 대한 정보처리 능력을 통해 좀 더 효율적으로 정보를 처리할 수 있는 방법을 개발할 수 있어야 한다(김선진, 2010).

5. 운동의 정확성

1) 정확성과 일관성의 개념

골프에서 강한 임팩트(impact)를 구사하기 위해서는 신체 분절의 각속도를 빠르게 하여야 한다. 이때 스윙속도가 빨라지면 빨라질수록 아이언이 공에 맞는 정확도는 떨어지게 되므로 정확도를 높이기 위해서는 안정된 스윙동작으로 일관성 있게 스윙을 유지할 수 있도록 해야 한다. 이처럼 정확한 목표수행을 성취하기 위해서는 사지간의 긴밀한 협응이 요구되며 세련된 운동수행을 일관성 있게 하여야만 성공적인 수행이 가능하다. 운동의 정확성은 과제의 특성과 환경적 요구에 적합한 신체의 움직임 만들어냈는가 하는 문제와 관련된 것으로 대부분이 운동수행이 끝난 후에 수행의 결과를 측정하여 판단하게 된다(김선진, 2010). 운동의 정확성은 일반적으로 실제 목표 수행과 수행간의 절대오차(absolute error, AE)와 항상 오차(constant error, CE)로 나타낼 수 있으며(김선진, 2010), 수행간의 차이의 변화는 가변오차(variable error, VE)로 운동의 일관성을 나타낼 수 있다(김선진, 2010). 한 두 번의 시행으로 나타난 수행의 결과로는 운동의 정확성을 판단할 수 없으며, 충분한 시행동안 일관성 있는 결과를 보여야만 운동 정확성이 높다고 말할 수 있다. 따라서 운동의 정

확도와 일관성은 운동기술 수준을 가늠할 수 있는 요소로 스포츠상황의 경기력에 미칠 수 있는 아주 중요한 요소이다.

Ⅲ. 연구 방법

본 연구의 가설을 검증하기 위하여 다음과 같은 방법으로 실험이 이루어졌다.

1. 연구대상

본 연구의 연구대상자는 근육 및 신경학적 손상이 없는 야구선수(숙련자, 21세±4)와 일반인(비숙련자, 24세±5) 남자로 총 28명으로 선정하였다. 모든 피험자는 오른손이 우성인 손이고, 이를 검사하기 위해 Edinburgh Handedness Inventory test를 사용하였다(Oldfield, 1971). 연구대상자와 관련된 일반적 특성은 다음의 <표1>과 같다.

표 1. 피험자의 특징

집단		연령	인원(명)
숙련자 (S'대학교 야구선수)	양극(anode)	만20.3세±1	7명
	무극(sham)	만21.7세±7	7명
비숙련자 (S대학교 대학생)	양극(anode)	만24.8세±6	7명
	무극(sham)	만23.9세±3	7명

2. 실험 도구 및 측정 방법

1) 사전. 사후검사

① 외적타이밍 반응시간속도계(Bassin Anticipation Timer)

사전검사에서 외적타이밍의 반응시간을 알아보기 위해 빛 자극을 일정한 속도로 진행시키는 타이밍 반응시간 측정기(Bassin Anticipation Timer, Lafayette Instrument Co.)를 사용하였다. 타이밍 반응시간 측정기는 최저 1mile 부터 최고 시속 999 mile까지 불빛 속도를 조절할 수 있으며, 김선진(1996)의 연구에 의하면 불빛 자극의 이동속도가 134cm/s~357cm/s의 범위에서는 이동속도 조건 간에 차이가 크지 않다고 하여, 이 범위 내인 134cm/sec, 179cm/sec, 223cm/sec, 313cm/sec와 357cm/sec, 5가지 속도로 설정하여 무작위로 제시 하였다. 빛 자극의 도달 지점에 전기신호를 송출하는 광센서를 설치하고 빛이 목표지점을 통과하였을 때와 방망이를 휘두른 그 시점간의 시간오차(AE)를 통해 정확성을 파악하고, 절대타이밍 오차의 결과간의 가변오차(VE)를 통해 일관성을 알아보았다.



그림 2. 반응시간속도계



그림 3. 외적타이밍 반응시간 측정(앞)

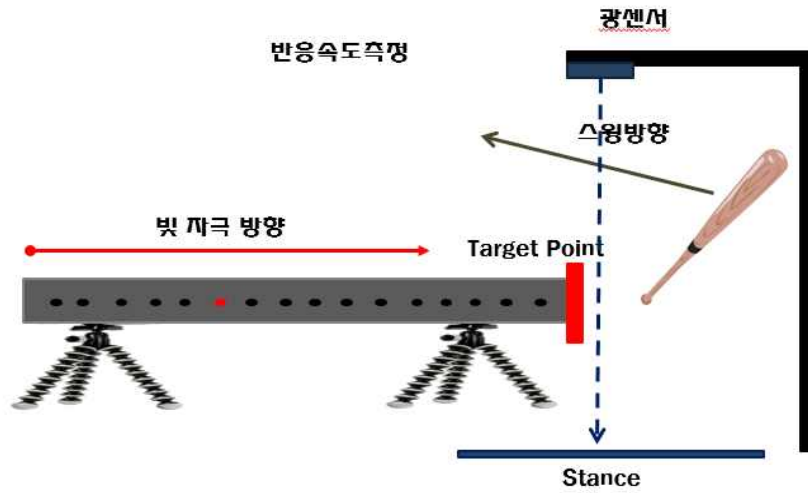


그림 4. 외적타이밍 반응시간 측정(옆)

실험자는 스탠스에 서서 타격자세를 취하고 각기 다른 속도로 다가오는 빛을 야구공이라 생각하여 빛이 목표지점(Target point)에 도달했을 때 정확히 반응하여 타격하였다. 본 실험에서는 실험에 대해 약 5분간 충분한 설명을 듣고 학습한 후, 각기 다른 5가지 속도(134cm/sec, 179cm/sec, 223cm/sec, 313cm/sec와 357cm/sec)로 오는 빛을 각 속도 당 4회씩 스윙하여, 총 20번의 스윙을 시행하였다. 실험구조의 세부설정은 다음 <표 2>와 같다.

표 2. 실험구조

		사전검사	학습구성	사후검사
속련자 (야구선수)	A그룹 (양극-anode)	오른손	양극 (15min, 2mA) IM-2회	오른손
	B그룹 (무극-sham)	4x5회 =평균값	통제 (5sec, 2mA) IM-2회	4x5회 =평균값
	C그룹		양극 (15min, 2mA)	
비속련자 (일반인)	D그룹 (양극-anode)	오른손	IM-2회	오른손
	E그룹 (무극-sham)	4x5회 =평균값	통제 (5sec, 2mA) IM-2회	4x5회 =평균값
	F그룹		양극 (15min, 2mA)	

IM: Interactive metronome (내적타이밍 훈련 도구)

2) 내적타이밍 훈련

① 경두개직류전기자극(tDCS: transcranial Direct Current Stimulus)

본 연구에 사용된 경두개직류전기자극장치(tDCS)는 비침습적 뇌 자극 장치로 지금까지 밝혀진 바로는 부작용이 없는 뇌 전기 자극 장치이며, 이는 tDCS의 자극의 극성에 따라 효과가 반대로 나타난다. 양극자극(anode)은 뇌 피질의 흥분도를 증가시키고, 음극자극(cathode)은 반대로 감소시킨다. 실험에 사용될 전류의 일반적 특성은 시간: 1회 15분씩 2일, 전류세기: 2mA, 소뇌에 부착할 전극판의 크기:35cm², 오른쪽 팔에 부착할 전극판의 크기:16cm² 이다. 두 전극판은 붕대로 고정시켰으며 양극자극 그룹(A, C)과 무극자극 그룹(B, D)으로 나뉘었다. 실험에 사용된 tDCS의 세부 설정은 다음의 <표 2>와 같다.

표 3. 실험에 사용된 경두개직류전기자극(tDCS) 장치의 세부 설정

		시간	전류세기	전류밀도	전극판의 크기
속련자	A그룹 (양극-anode)	15min	2mA	0.033 C/cm	35cm ²
	B그룹 (무극-sham)	5sec	2mA	0.033 C/cm	35cm ²
비속련자	C그룹 (양극-anode)	15min	2mA	0.033 C/cm	35cm ²
	D그룹 (무극-sham)	5sec	2mA	0.033 C/cm	35cm ²

35cm²의 전기자극판의 위치는 소뇌(cerebellum)부위로 양 귓볼에서 중앙부 쪽으로 1cm 가량 안쪽부위에 전기자극판을 부착하였고, 나머지 회귀회로전기자극판(16cm²)은 오른팔 삼각근 부위에 부착하여 붕대로 고정 시켰다. 전극 판은 피부저항 값을 감소시키기 위해 알코올 솜으로 유분기를 제

거하고, 고성능 젤을 발라 tDCS장비의 지속성을 극대화 시켰다. 그룹(A, C)은 내적타이밍 학습(IM)을 하는 15분 동안 양극자극(anode)을 받았으며, 그룹(B, D)은 5초간의 자극만 주어진 후 피험자가 이를 인지하지 못하도록 자동적 소멸 방식으로 실험이 진행되었다.



그림 5. 경두개직류전기자극(tDCS)



그림 6. tDCS 부착위치

② 내적 타이밍 훈련-인터랙티브 메트로놈(IM: Interactive Metronome)

인터랙티브 메트로놈은 반복적으로 내적타이밍을 맞추는 훈련도구로써, 훈련을 통해 정보기억력, 운동 협응력, 주의 집중력 또는 타이밍에 맞는 기능적 운동의 패턴을 더욱 정확하고 효율적으로 움직이게 한다. 모든 피험자는 IM훈련을 이틀에 걸쳐 2회 실시하였다. 피험자는 tDCS를 부착한 상태에서 버튼트리거<그림6>를 양손에 착용하고 헤드폰을 쓴 다음, IM 9.0, Long Form Assessment 프로그램<그림 10>이 설치된 컴퓨터를 이용하여 내적 타이밍 훈련을 수행하였다. 이 훈련은 일정하게 제시되는 비트음에 지속적으로 양손과 양발의 타이밍을 맞추는 방법으로 약 20분간 이틀에 걸쳐 2회 훈련하였다.



그림 7. 버튼 트리거



그림 8. 탭매트(무선)



그림 9. MCU

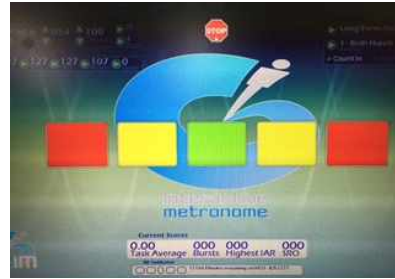


그림 10. 소프트웨어
IM 9.0 Long form assessment



그림 11. 내적타이밍(IM) 훈련 모습

3. 실험절차



그림 12. 실험절차

1) 대상자 선정

본 실험연구는 연구의 목적에 따라 3일차로 진행 되었고, 1회차에 이루어진 실험절차는 다음과 같다. 연구 참여자는 Edinburgh Handedness Inventory test를 거쳐 오른손이 우세측(dominant)인 피험자 28명으로 구성되었다. 모든 피험자는 실험장비에 대한 설명과 실험과제방법을 충분히 들은 후 동의하에 모든 실험은 이루어 졌다.

2) 사전측정

첫날, 모든 피험자는 외적타이밍 과제를 수행하였다. 외적 타이밍과제의 수행 방법은 두발을 어깨 넓이로 벌려 선 다음 양팔의 상박을 몸통에 붙인 상태로 배트를 잡도록 하였다. 이때 배트를 잡은 두 손은 귀 높이에 맞게 올리고 가장 빠르고 신속하게 방망이를 휘두를 수 있도록 훈련하였다. 이후, 무작위로 날아오는 5가지의 다른 속도의 빛을 총(4X5회)20회(trial) 타격하도록 하였다.

3) 그룹할당

각 그룹당 피험자 수는 7명으로 숙련자(A, B) 2그룹과 비숙련자(C, D) 2그룹으로 총 4그룹으로 나뉘었다. 이중 A와 C(anode)그룹은 내적타이밍 훈련 시 tDCS의 양극자극을 15분간 적용하고, B와 D그룹(sham)은 양극자극을 5초간 적용한 뒤, 피험자가 이를 알지 못하도록 자동 소멸되는 방식으로 설정되었다.

4) 훈련(내적타이밍)

사전에 실시된 외적 타이밍 학습에 방해받지 않기 위해 2주의 시간이 지난 뒤 내적타이밍 훈련을 시행하였다. 이 훈련은 tDCS의 그룹에 따라 각 7명씩 나뉘어 소뇌(cerebellum)와 오른쪽 어깨세모근부위(deltoid region)에 tDCS의 양극판을 부착하여 진행되었다. 이 때 A와 C그룹은 내적타이밍 학습을 하는 15분 동안 양극자극(anode)을 받았고, B와 D집단은 5초간의 양극자극(anode)을 받은 후 피험자가 이를 알지 못하도록 자극이 자동소멸

되도록 설정하였다. 내적타이밍 훈련은 이틀에 걸쳐 시행되었고 훈련이 끝난 후 10분의 휴식을 가지고 난 이후 사후검사로 외적타이밍 과제 수행을 측정하여 외적타이밍의 사전-사후 측정결과를 비교 분석하였다.

4. 실험설계

본 연구는 tDCS의 자극 형태(2수준: anode, sham)와 숙련도(2수준: 숙련자, 비숙련자)를 독립변인으로 하고 이에 따른 종속변인은 외적타이밍과(정확성, 일관성) 내적타이밍(정확성)으로 독립 이표본 t검증을 통해 각 그룹별 tDCS따른 외적타이밍 과제 수행의 효과를 보았다. 외적타이밍과 내적타이밍의 반응시간의 오차를 측정하여 타이밍의 정확성을 나타내는 절대타이밍 오차(absolute error)와 일관성을 나타내는 가변오차(variable error)로 각각 산출하였다.

표 4. 실험 설계

독립변인	종속변인
tDCS 자극 형태(양극, 통제) 숙련도(숙련자, 비숙련자)	외적타이밍 정확성(절대적타이밍오차, AE) 일관성(가변오차, VE) 내적타이밍 정확성(절대적타이밍오차, AE)

5. 자료 분석

본 연구에서는 tDCS의 자극 형태(anode, sham)에 따른 외적타이밍 과제 수행 시 날아오는 불빛자극의 이동속도별 스윙동작의 반응시간을 산출하였다. 운동 정확성은 시간오차를 통해 절대오차(AE)로 산출하였고, 운동수행의 일관성을 살펴보기 위해 각각의 피험자들의 운동수행에 대한 시행간의 중앙점수를 구하고, 매 시행 점수와 중앙점수의 차이를 통해 가변오차(VE)를 산출하였다.

1) 절대오차(absolute error, AE)

절대오차는 매 시행에 있어서의 목표점수와 실제점수간의 절대적인 차이를 말하는 것으로 여러 번의 시행에서 얻은 결과의 평균값으로 나타내었다.

$$\text{절대오차(AE)} = \sum |x_i - T| / n$$

2) 가변오차(variable error, VE)

가변오차는 수행자의 원점수의 표준편차를 계산하여 산출하였다(Schmidt, 1988).

$$\text{가변오차(VE)} = \sqrt{\sum (x_i - M)^2 / n}$$

6. 통계 처리

본 연구에서는 SPSS 23.0의 통계프로그램을 이용하여 통계분석을 실시하였고, 가설검증을 위해 통계적 유의 수준은 $p < .05$ 로 설정 하였다.

- 1) tDCS 자극의 형태(2수준)와 숙련도(2수준)에 따른 그룹별 사전-사후의 반응시간의 오차에 대한 차이를 알아보기 위하여 독립 이표본 t검증 (independent two samplest-test)실시하였다.
- 2) 그룹간의 상호작용 효과를 알아보기 위해 이원배치분산분석(two-way ANOVA)을 실시하였고, 구체적인 효과 검증을 위해 계수 추정값의 결과로 유의수준을 확인하였다.
- 3) 그룹별 내적 타이밍과제 간의 훈련시기에 따른 변화(향상도)를 분석하기 위해 이원배치분산분석(two-way ANOVA)을 실시하였고, 구체적인 효과 검증을 위해 계수 추정값의 결과로 유의수준을 확인하였다.

IV. 연구결과

본 연구에서는 비침습뇌자극(tDCS)에 따른 숙련자와 비숙련자의 내적타이밍 훈련이 외적타이밍 과제 수행 시 측정되는 정확성과 일관성의 변화를 분석하고자 하였다. 외적타이밍의 반응시간은 타이밍 반응시간 측정기를 이용하여 사전 20회와 사후 20회로 각각의 반응오차시간을 측정한 값으로 정확성이 평가되었으며, 측정한 반응시간의 오차는 중앙값으로부터 편차를 측정해 일관성을 제시하였다. 또한 tDCS의 자극의 형태에 따른 내적타이밍 훈련의 변화양상을 살펴보았다.

1. 외적타이밍 반응시간

1) 단순반응시간(평균과 표준편차)

사전-외적타이밍 과제 수행 시 각 이동속도별 반응시간의 평균과 표준편차는 <표5>와 같다.

표 5. 불빛자극의 이동속도에 따른 반응시간오차의 평균과 표준편차(사전) 단위:ms

		불빛이동 속도	134cm/sec	179cm/sec	223cm/sec	313cm/sec	357cm/sec	합계
숙련자A (anode)	평균		0.411	0.398	0.411	0.467	0.473	0.432
	표준편차		0.066	0.040	0.050	0.098	0.046	0.060
숙련자B (sham)	평균		0.366	0.369	0.392	0.445	0.429	0.400
	표준편차		0.063	0.040	0.050	0.056	0.044	0.051
비숙련자C (anode)	평균		0.400	0.409	0.391	0.489	0.470	0.432
	표준편차		0.053	0.031	0.033	0.075	0.055	0.050
비숙련자D (sham)	평균		0.374	0.423	0.433	0.452	0.465	0.430
	표준편차		0.065	0.063	0.074	0.058	0.078	0.068
합계	평균		0.388	0.400	0.407	0.463	0.459	0.423
	표준편차		0.062	0.044	0.052	0.072	0.056	0.057

사후-외적타이밍 과제 수행 시 각 이동속도별 반응시간의 평균과 표준편차는 <표6>와 같다.

표 6. 불빛자극의 이동속도에 따른 반응시간오차의 평균과 표준편차(사후) 단위:ms

불빛이동 속도		134cm/sec	179cm/sec	223cm/sec	313cm/sec	357cm/sec	합계
속련자A (anode)	평균	0.329	0.375	0.328	0.417	0.394	0.369
	표준편차	0.022	0.041	0.055	0.053	0.036	0.041
속련자B (sham)	평균	0.339	0.388	0.343	0.379	0.389	0.368
	표준편차	0.056	0.062	0.051	0.048	0.048	0.053
비속련자C (anode)	평균	0.248	0.316	0.284	0.357	0.340	0.309
	표준편차	0.029	0.024	0.040	0.029	0.030	0.030
비속련자D (sham)	평균	0.276	0.314	0.316	0.387	0.362	0.331
	표준편차	0.036	0.026	0.028	0.031	0.046	0.033
합계	평균	0.298	0.348	0.318	0.385	0.371	0.344
	표준편차	0.036	0.038	0.044	0.040	0.040	0.040

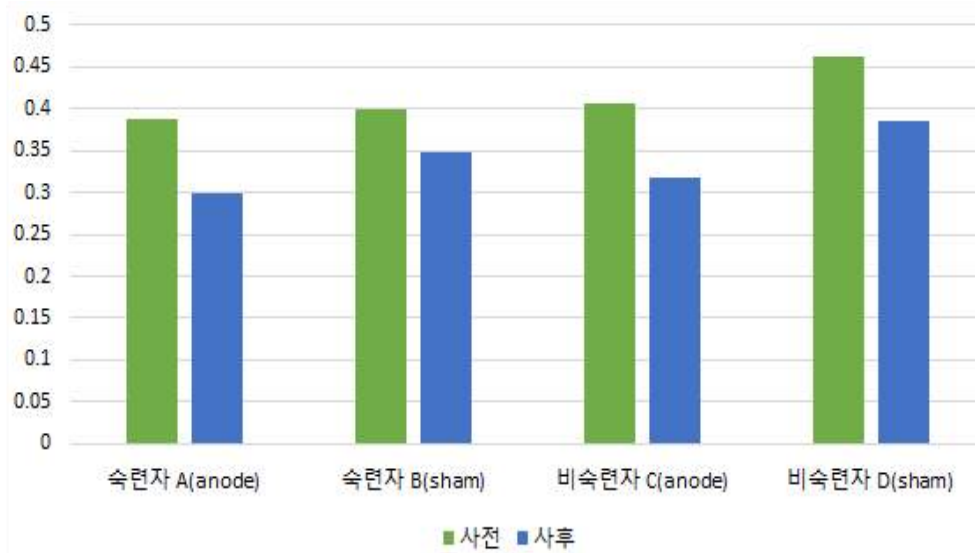


그림 13. 외적타이밍 전체반응 시간

외적타이밍 과제 수행 시 그룹별 사전-사후의 반응오차시간을 통해 정확도의 변화를 알아본 결과, 숙련자A(양극; anode)그룹에서 0.090ms 반응시간의 오차감소를 나타내었고 숙련자B(무극; sham)그룹에서 0.052ms 반응시간의 오차감소로 A(anode)그룹에 비해 B그룹은 적은 오차감소를 보였다. 또한 비숙련자C(양극; anode)그룹에서 0.089ms 오차감소를 보였고, 비숙련자D(무극; sham)집단에서 0.078ms의 오차감소를 보이며 C그룹에 비해 D그룹은 적은 오차감소를 보였다. 그래프 통해 tDCS를 적용한 내적타이밍 훈련을 한 양극 그룹(A, C)이 tDCS를 적용하지 않은 그룹(B, D) 보다 외적타이밍 과제 수행 시 더 큰 오차감소를 보인 것을 알 수 있다.

2) 외적타이밍 과제 수행의 정확성

운동수행의 정확성은 각 피험자별로 20회의 외적타이밍 과제 수행 시 산출되는 반응시간의 오차 평균값을 기준으로 분석한 결과를 제시하였다.

가설 (유의수준 $\alpha=0.05$)

H_0 : tDCS 자극의 형태에 따른 내적타이밍 훈련이 가져오는 외적타이밍 과제 수행의 정확성 효과가 같다.

H_1 : tDCS(양극) > tDCS(무극), tDCS의 자극형태에 따라 양극(anode) 자극을 받은 내적 타이밍 훈련의 그룹이 외적타이밍 과제 수행에서 정확성의 효과가 더 크다.

H_0 : (숙련자, 비숙련자)그룹에 따른 내적타이밍 훈련이 가져오는 외적 타이밍 수행의 정확성 효과가 같다.

H_1 : 비숙련자 > 숙련자, 비숙련자 그룹이 외적타이밍 과제 수행에서 정확성의 효과가 더 크다.

표 7. 각 그룹별 사전-사후 시간오차의 독립 이표본 *t*검증 결과

		평균	표준편차	<i>t</i>	자유도	유의확률
양극-무극 (tDCS)	양극	0.0933	0.0765	0.9584	26	0.1734
	무극	0.0654	0.0777			
비숙련자-숙련자 (숙련도)	비숙련자	0.1107	0.0896	2.328	26	0.0140*
	숙련자	0.0479	0.0465			

$p < .05^*$

운동 정확성은 시간 정확성으로 각 그룹별 사전-사후의 반응시간 오차에 대한 차이의 유의성을 알아보기 위해 독립 이표본 *t*검증을 실시하였다. tDCS의 양극(anode)자극을 준 결과의 평균값이 더 크게 나왔으나[0.279], 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다[$p > .05^*$]. 그러나, 숙련도별 차이에 대해서는 비숙련자 그룹의 평균값이 더 크게 나왔고[0.0628], 통계적으로 유의한 결과를 보였다[$p < .05$].

좀 더 구체적으로 각 그룹별 사전-사후의 반응시간오차 값을 알아보기 위해 이원변량분석을 실시한 결과를 <표8>에 제시하였다.

표 8. 외적타이밍 사전·사후 반응시간의 오차에 대한 이원변량분석 결과

	자유도	제곱의 합	평균제곱	<i>F</i>	유의확률
숙련도	1	0.0276	0.0276	5.2212	0.0315*
tDCS	1	0.0055	0.0055	1.0329	0.3196
숙련도*tDCS	1	0.0001	0.0001	0.0150	0.9036
오차	24	0.1270	0.0053		
합계	27	0.1602			

$p < .05^*$

<표8>과 같이 각 그룹에 따른 정확성은 유의한 결과를 나타냈으나 [$F(1,24)=5.2212, p<.05^*$], tDCS의 자극 형태에 따른 주효과는 나타나지 않았으며 [$F(1,24)=1.0329, p>.05$], tDCS의 자극 형태와 그룹의 상호작용 효과도 나타나지 않았다 [$F(1,24)=0.0150, p>.05$].

tDCS와 그룹간의 상호작용 효과가 유의하지 않아 이를 오차항에 편입시켜, 주효과에 대한 검정력을 높이는 상호작용이 없는 이원배치분산분석(two-way ANOVA models with no interaction)을 실시하였다<표9>.

표 9. <표8>에 대한 상호작용이 없는 이원배치분산분석의 결과

	자유도	제곱의 합	평균제곱	F	유의확률
숙련도	1	0.0276	0.0276	5.4353	0.0281*
tDCS	1	0.0055	0.0055	1.0753	0.3097
오차	25	0.1271	0.0051		
합계	27	0.1602			

$p<.05^*$

실시한 결과, 유의성이 좀 더 높아지긴 했으나[0.0281], tDCS 변수가 유의해 질 정도의 결과는 나오진 않았다 [$F(1,25)=1.0753, p>.05$]. 이에 대한 계수 추정값은 표<10>와 같다.

표 10. <표9>에 대한 추정값의 결과

	추정계수	표준오차	t	유의확률
숙련도	0.0314	0.0137	2.2850	0.0314*
tDCS	-0.0140	0.0137	-1.0160	0.3196
숙련도*양극-무극	0.0017	0.0137	0.1220	0.9036
절편	0.0793	0.0137	5.7700	6.01e-06***

위 두<표7,표8> 표는 외적타이밍 과제 수행 시 20번의 결과를 요약한 평균값으로 분석한 결과이다. 20회의 시행을 각각의 반복의 결과로 데이터 값을 의미부여하여 two-way ANOVA with repeated measure 시행하였다. 그 결과는 다음 <표11>과 같다.

표 11. 외적타이밍 사전-사후 반응시간 오차에 대한 반복측정의 의한 이원배치분산분석 결과

	추정계수	표준오차	자유도	t	유의확률
속련도	0.0314	0.0137	24	2.2850	0.0314*
tDCS	-0.0140	0.0137	24	-1.0163	0.3196
속련도*tDCS	0.0017	0.0137	24	0.1224	0.9036
절편	0.0793	0.0137	532	5.7703	0.0000

$p < .05^*$

뚜렷한 주효과의 특징을 살펴보기 위해 외적타이밍의 사전-사후 반응시간오차에 대한 반복측정 분산분석을 실시한 결과, 그룹별 주효과는[$p < .05^*$] 나타났으나, tDCS의 자극형태 따른 그룹과 속련도 그룹과의 상호작용 효과는 유의하지 않았다[$p > .05$].

3) 외적타이밍 과제 수행의 일관성

운동수행의 일관성은 각 피험자별로 20회의 외적타이밍 과제 수행의 평균값의 중앙값으로부터 오차를 측정해 분석하였다.

가설 (유의수준 $\alpha=0.05$)

H_0 : tDCS 자극의 형태에 따른 내적타이밍이 훈련이 가져오는 외적타이밍의 과제 수행의 일관성 효과가 같다.

H_1 : 양극 > 무극, tDCS의 자극형태에 따라 양극(anode)자극을 받은 내적 타이밍 훈련의 그룹이 외적타이밍 과제 수행에서 일관성의 효과가 더 크다.

H_0 : 그룹에 따른 내적타이밍 훈련이 가져오는 외적타이밍 수행의 일관성 효과가 같다.

H_1 : 비숙련자 > 숙련자, 비숙련자 그룹이 외적 타이밍과제 수행에서 일관성의 효과가 더 크다.

표 12. 각 그룹별 사전-사후 일관성(표준편차)의 독립 이표본 t검증 결과

		평균	표준편차	t	자유도	유의확률
양극-무극 (tDCS)	양극	0.3042	0.0029	-.0017	26	0.4843
	무극	0.3042	0.0025			
비숙련자-숙련자 (숙련도)	비숙련자	0.0314	0.0027	2.0878	26	0.0234*
	숙련자	0.0294	0.0022			

$p < .05^*$

운동수행의 일관성은 시간 정확성으로 각 그룹별 사전·사후의 표준편차에 대한 차이의 유의성을 알아보기 위해 독립 이표본 t검증을 실시하였다. tDCS의 자극형태 따른 평균값의 차이는 없었고, 통계적으로도 유의한 차이를 보이지 않았다[$p > .05$]. 반면에 그룹별 차이에 대해서는 비숙련자 그룹이 더 크게 나왔고[0.0020], 통계적으로 유의한 결과를 보였다[$p < .05$].

각 그룹별 일관성의 상호작용 효과를 보기위해 이원변량분석을 실시한 결과를 <표13>에 제시하였다.

표 13. 외적타이밍 사전·사후 반응시간의 편차에 대한 이원변량분석 결과

	자유도	제곱의 합	평균제곱	F	유의확률
숙련도	1	3.963E-5	3.963E-5	0.164	0.755
tDCS	1	0.002	0.002	6.666	0.235
숙련도*tDCS	1	0.000	0.000	0.294	0.593
오차	24	0.020	0.001		
합계	27	0.022	0.003		

tDCS와 숙련도간의 상호작용 효과가 유의하지 않아 이를 오차항에 편입시켜, 주효과에 대한 검정력을 높이는 상호작용이 없는 이원배치분산분석(two-way ANOVA models with no interaction)을 실시하였다<표14>.

표 14. 외적타이밍 사전·사후 반응시간 편차에 대한 이원배치분산분석의 결과

	자유도	제곱의 합	평균제곱	F	유의확률
숙련도	1	0.0016	0.0016	2.0178	0.1678
tDCS	1	0.0000	0.0000	0.0496	0.8256
오차	25	0.0200	0.0008		
합계	27	0.0216			

각 그룹과 tDCS에 따른 일관성의 효과는 통계적으로 유의하지 않게 나왔다[$p > .05$]. 그러나 <그림14>와 같이 그룹B(sham)를 제외한 나머지 그룹(A, C, D)에서는 일관성의 효과가 나타났다.

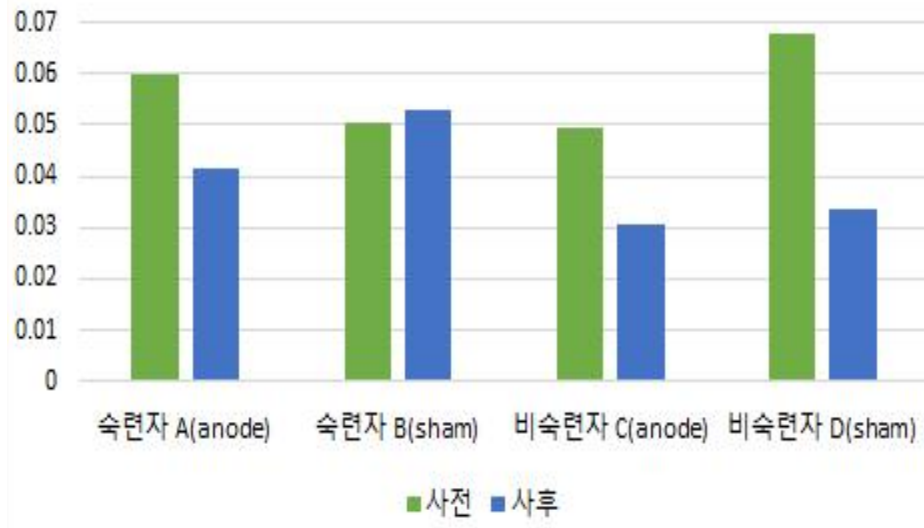


그림 14. 외적타이밍 사전-사후 일관성의 변화

2. 내적 타이밍 반응시간

1) 단순반응시간(평균)

내적 타이밍 훈련은 인터액티브메트로놈 9.0 프로그램을 이용하여 14가지 서로 다른 사지 움직임을 통해 내적타이밍 훈련을 실시하였다. 이 훈련은 이틀에 걸쳐 2회 실시하였고, 내적타이밍의 훈련의 결과는 <그림15>와 같다.

Long Form Assessment Calculations

IM Long Form Assessment Date: 08/24/2015

Date of Birth:

Trainee ID:

Preferred Hand: Right

IM Trainer Name:

Gender: Male

Task	MS	Early Hits	Late Hits
1. Both Hands	22	23	30
2. Right Hand	39	16	9
3. Left Hand	25	17	12
4. Both Toes	26	21	9
5. Right Toe	26	18	11
6. Left Toe	42	20	10
7. Both Heels	53	18	12
8. Right Heel	140	27	3
9. Left Heel	48	19	8
10. R Hand/L Toe	50	17	12
11. L Hand/R Toe	29	15	15
12. Bal. Right Foot	21	13	16
13. Bal. Left Foot	35	17	12
14. #1 -w Guide ends	44	32	15
Total Unadjusted	41	293 (61.4%)	184 (38.6%)

IM Long Form Assessment Battery Results:

Millisecond Accuracy

- a) Hands ms avg. (includes Task 1, 2, 3, 14) = 32.5
- b) Feet ms avg. (includes Task 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13) = 45.8
- c) Both Hands ms avg. (includes Task 1, 14) = 33.0
- d) Both Feet ms avg. (includes Task 4, 7) = 39.5
- e) Left Side ms avg. (includes Task 3, 6, 9) = 38.3
- f) Right Side ms avg. (includes Task 2, 5, 8) = 68.3
- g) Bilateral ms avg. (includes Task 10, 11) = 39.5
- h) Adjusted ms avg. $((a + b) / 2) = 39.1$

Long Form Assessment Battery Achievements

Highest In-A-Row: 6, Task # 1
 Total Number of IAR Bursts: 5
 Percentage within 15 MS: 34.2%

Optional - Attend Over Time Test

Both Hands 500 reps: Not Taken

그림 15. 내적타이밍 훈련 결과표

오른손으로만 내적타이밍을 훈련하는 경우[2. Right hand], 왼발로만 훈련하는 경우[6. Left toe]등 사지의 움직임으로부터 만들어질 수 있는 14가지의 서로 다른 수행에 따른 반응시간오차의 결과표<그림15>로 ms는 일정하게 소리 나는 비트음과 실제 수행간의 시간오차로 측정된 값이다.

표 15. 내적타이밍 훈련의 기술통계량 단위ms,%

	첫째 날(ms)	둘째 날(ms)	향상도 %
속련자A (anode)	47.86	35.86	25.08
속련자B (sham)	50.28	47.14	6.25
비속련자C (anode)	46.00	31.43	31.67
비속련자D (sham)	36.71	28.86	21.38
합계	45.21	35.82	21.10

내적타이밍 훈련 중에 tDCS의 양극(anode)을 적용한 그룹에서 그렇지 않은 그룹보다 더 큰 반응시간오차를 나타내었고, 비속련자의 tDCS를 적용한 그룹에서 가장 큰 오차의 범위를 나타내었다[31.67%].

2) 내적타이밍 과제 수행의 정확성

운동수행의 정확성은 각 그룹별로 tDCS의 자극의 형태에 따른 2회(첫째 날, 둘째 날)의 내적타이밍 훈련 시 산출되는 반응시간오차의 평균값을 기준으로 분석한 결과를 제시하였다<표15>.

표 16. 내적타이밍 Day1, Day2의 반응시간 오차에 대한 이원배치분산분석 결과

	자유도	자승의 합	평균제곱	F	유의확률
속련도	1	92.89	92.89	1.0296	0.3204
양극-무극	1	424.32	424.32	4.7029	0.0403*
속련도*양극-무극	1	8.04	8.04	0.0891	0.7680
오차	24	2165.43	90.23		
합계	27	0.1602			

$p < .05^*$

이들에 걸친 내적타이밍 훈련의 변화는 tDCS의 자극 형태에 따라 그 주효과가 나타났으며 [$F(1,24)=4.7029, p < .05$], 이외의 다른 주효과는 나타나지 않았다 [$p > .05$]. tDCS의 양극(anode)을 자극한 그룹에게서 타이밍 반응시간을 줄이는 효과를 보았다. 이에 대한 계수 추정값은 표<16>과 같다.

표 17. <표16>에 대한 추정값의 결과

	추정계수	표준오차	t	유의확률
속련도	1.8214	1.7951	1.015	0.3204
양극-무극	-3.8929	1.7951	-2.169	0.0402*
속련도*양극-무극	0.5357	1.7951	0.298	0.7679
절편	9.3929	1.7951	5.233	2.31E-05

V. 논의

전기의 사용은 의학에서 100년 이상 사용되어지고 있으며(Pope, 2015), 그 중 소량의 전기로 뇌 국소부위 신경원을 자극하는 방법 중 하나인 경두 개직류전기자극(tDCS)은 인간의 운동피질의 활성화를 조절하며 안전하고 간편하게 적용할 수 있어 널리 쓰이고 있다(Miranda, Faria & Hallett, 2009). 또한, 뇌의 가역성 및 기능 증진을 위한 효과적인 방법으로 뇌병변이 있는 환자에게 적용하거나, 스포츠상황의 효율적인 움직임에 위해 적용되기도 한다. 반면에 tDCS의 적용방법에 따라 그에 따른 효과도 다르게 나타나면서 오랜 시간 동안 tDCS의 자극에 따른 운동피질의 기능 조절에 대해 재조명되고 있다(Priori, 2003). 또한 tDCS를 적용하는데 있어 아직까지 정확한 프로토콜이 확립되어 있는 것은 아니며, 적용방법의 특성에 따라 다른 연구결과들이 보고되었다(Kwon et al, 2008). 기존 연구에서는 소뇌(cerebellum)가 타이밍학습에 중요한 역할을 한다고 보고하며(Raymond, Lisberger & Mauk, 1996), 이에 따라 소뇌에 적용되는 tDCS의 일반적 특징은 1-2mA/25-35cm² 로 20-30분정도의 양극자극(anode)이 소뇌 피질의 활성화를 돕는다고 보고하였다(Ferrucci, Cortese & Priori, 2015).

따라서, 본 연구에서는 tDCS의 자극 형태(anode, sham)에 따른 타이밍 과제 수행의 그룹별 변화를 통해 tDCS의 효과를 비교검증 하고자 하였다. 그리고 타이밍 과제에서 측정될 수 있는 반응시간의 오차를 통해 정확도와 일관성의 변화를 보았다. 선행 연구에서는 장비사용으로 인해 제한된 과제 수행 및 환경적 조건 속에서 이루어져(김석진, 2015), 실제 스포츠상황에서의 복잡한 메커니즘을 설명하기에는 부족한 점을 보완하기 위한 실험이 설계되었다. 또한 자극의 특징으로만 분류되어 연구되었던 선행 연구의 제한점을 보완하기 위해 운동숙련에 따라 tDCS를 적용하였을 때 나타나는 숙련도별 차이 또한 검증하고자 하였다. 타이밍은 외적타이밍과 내적 타이밍, 서로 다른 두 요소의 제어 과정에 근거함에도 불구하고 서로 상관관계가

있음을 밝혀 낸 연구들을 바탕으로 실험을 진행하였다(Frimalm, 2012). 따라서 본 연구는 tDCS의 자극 형태에 따른 외적타이밍 과제의 반응시간의 오차 변화(사전-사후)를 통해 정확도와 일관성, 두 요소를 분석하고자 하였고, 더불어 숙련도(숙련자, 비숙련자)에 따른 그룹별 tDCS의 효과는 어떠한 차이가 있는지 살펴보았다.

tDCS의 자극 형태(2수준: anode, sham)와 숙련도(2수준: 숙련자, 비숙련자)를 독립변인으로 설정하고 외적타이밍 과제 수행의 변화 비교분석은 타이밍의 정확도, 일관성 그리고 내적 타이밍 훈련에서의 타이밍 정확도로 설정하였다. 도출된 결과와 기존의 연구를 비교한 논의는 다음과 같다.

1. tDCS의 자극 형태에 따른 외적타이밍 과제 수행의 변화

운동기술 수준을 결정짓는 중요한 요소 중 하나로 타이밍은 예측력과 움직이는 자극에 대한 탐색능력이 중요하게 작용한다. 또한, 환경적 요구에 따라 적합한 신체의 움직임을 만들어 낼 수 있는가에 따라 운동 수행의 정확도가 결정된다. 움직임의 정확성에 관련된 문제를 규명하기 위해 사전연구에서는 외적타이밍 과제를 통한 스윙 동작의 사전-사후 반응시간의 오차를 측정하여 불빛자극의 이동속도가 증가함에 따라 시간 정확성이 감소한다는 것을 밝혀내었고(Newell, Carton & Halvert, 1980), 운동 기술을 결정짓는 타이밍 훈련이 운동숙련도에 따라 학습의 효과는 달라져 예측, 지각, 인지적 측면 등 다양한 측면에서 숙련자가 초보자보다 뛰어난 결과를 보였다(Abernethy & Zawi, 2007).

본 연구에서는 타이밍 요소를 결정짓는 정확성과 일관성의 사전-사후의 변화를 통해 tDCS의 자극 형태(2수준: anode, sham)와 숙련도(2수준: 숙련자, 비숙련자)가 타이밍과제 수행에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보았다.

1) 정확성(반응시간오차)

tDCS의 자극 형태에 따른 그룹별 외적타이밍 과제 수행의 변화는 통계적으로 유의하지 않았지만, 숙련도와 비숙련도의 그룹에 따른 외적타이밍 과제 수행의 변화는 유의한 차이를 나타내었다. 모든 그룹별 외적타이밍 과제 수행의 정확성 변화는 다음 <그림16>과 같다.

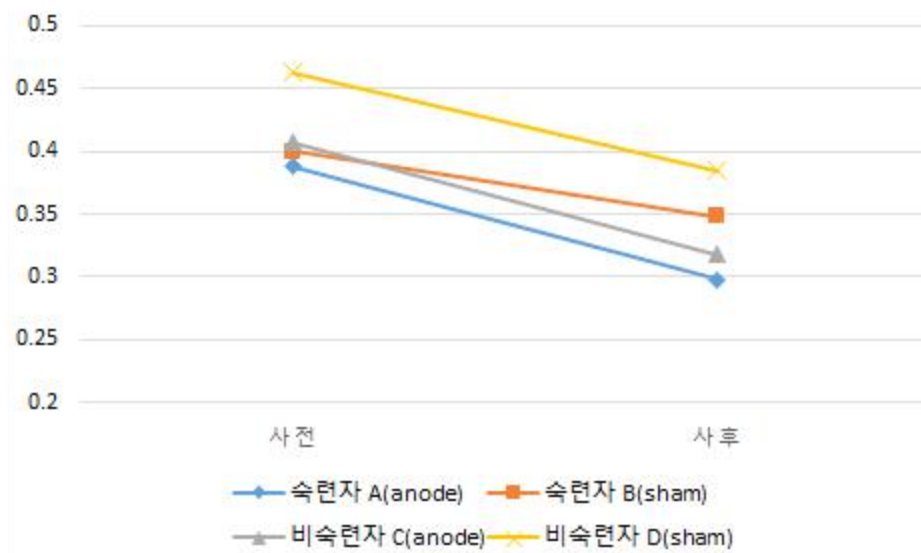


그림 16. 그룹별 사전-사후 정확성의 변화

비숙련자C(anode)의 그룹에서 사전-사후의 수행변화가 가장 큰 기울기를 나타낸 반면, 숙련자B(sham) 그룹에서는 사전-사후의 수행변화가 가장 적은 기울기의 변화 수준을 나타내었다. 이러한 결과는 운동 수행에서 정확성 수준이 높은 숙련자일수록 학습의 변화가 크지 않다는 결과와 같이 초보자 단계에서는 급격한 수행력 향상을 보이지만 숙련자 단계로 접어들면서 점차 수행력의 향상이 줄어들어가는 부적가속화, ‘파워법칙’의 기본 원칙의 근거와 일치한다(Snoddy, 1926). tDCS의 양극자극(anode)을 적용한 비

숙련자는 외적타이밍 과제 수행에서 반응시간의 오차 범위가 가장 큰 감소 변화의 형태를 나타내었다. tDCS를 적용한 숙련자와 비숙련자의 효과에 대해 비교 연구한 선행연구(Bullard et al, 2011)에 따르면, tDCS를 적용한 비숙련자가 숙련자보다 이미지를 탐색하는 과제에서 보다 큰 학습의 효과를 가진다고 보고하였다. 이는 비숙련자C(anode) 그룹이 가장 큰 기울기의 변화를 보인 것처럼 소뇌의 활성화를 준 그룹에서 학습의 효과가 자극을 주지 않은 숙련자B(sham) 그룹보다 운동학습에 효과적이었음을 알 수 있다. 또한 fMRI를 통해 엘리트, 숙련자, 비숙련자의 시간처리과제에서의 피질활성화 연구에 따르면(Callan & Naito, 2014), 과제에 대한 경험과 기술이 뛰어난 숙련자일수록 소뇌(cerebellum)와 일차운동피질(primary motor cortex)에서 신경효율성이 더욱 활성화 된다는 보고와 같이 인위적으로 뇌 활성화를 준 그룹이 과제에 대한 수행능력이 향상됨과 같은 논문의 결과로 볼 수 있다. 반면 오랜 기한을 두고 소뇌(cerebellum)와 전전두엽 피질(prefrontal cortex)의 각 부위에 양극(anodal), 음극(cathode), 무극(sham)을 차례로 모든 자극을 준 결과 소뇌의 양극과 음극을 준 반응시간의 오차범위의 변화는 같았고, 전두엽에 양극과 음극을 준 반응시간의 결과는 음극(cathode)을 받은 피험자에게서 반응시간을 줄이는 효과를 나타내었다(Ferrucci et al, 2008). 이는 소뇌의 tDCS 자극 형태에 따른 효과의 차이는 미비하며, 전전두엽 피질에 tDCS의 음극자극을 적용하는 것이 과제 반응시간을 더욱 줄이는 효과를 보여준다는 의미로 해석될 수 있다.

기존의 연구들에서는 양극자극(anode)과 음극자극(cathode)을 주어 각 피질의 활성화를 조절함에 따라 변화되는 운동수행의 효과에만 국한되어 연구가 진행되어 왔다. 따라서, 본 연구에서는 모든 피험자가 tDCS의 동일한 효과가 전달되는 것이 아니라 피험자의 운동수행능력, 즉 숙련도에 따라 그 효과는 다르게 나타날 수 있음을 가정하였다.

2) 일관성 (가변오차)

tDCS의 자극 형태에 따른 집단별 외적타이밍 과제 수행의 일관성 변화는 통계적으로 유의하지 않았지만 숙련도와 비숙련도의 집단에 따른 외적타이밍 과제 수행의 변화는 유의한 차이를 나타내었다. 그룹별 외적타이밍 과제 수행의 일관성 변화는 다음 <그림17>과 같다.

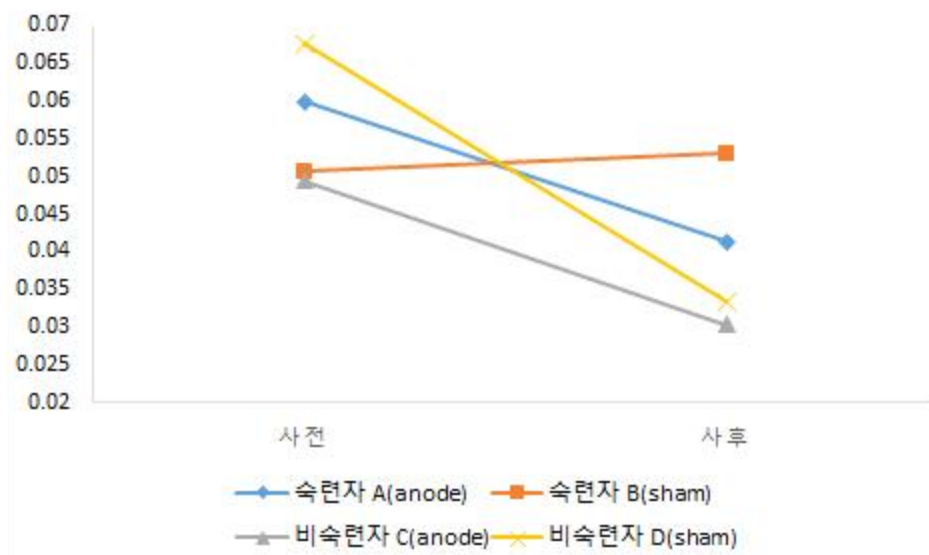


그림 17. 그룹별 사전-사후 일관성의 변화

tDCS 자극형태에 따른 내적타이밍 훈련이 외적타이밍 과제 수행 시 일관성에 미치는 영향을 살펴 본 결과, tDCS의 자극에 따른 숙련자 그룹 간의 비교를 통해 tDCS 양극자극(anode)을 받은 그룹이 향상되었지만 비숙련자의 그룹(anode C, sham D) 간은 tDCS 자극과 상관없이 내적타이밍 훈련만으로 타이밍 일관성이 향상되었음을 나타내었다. 또한 tDCS의 자극에 따른 그룹별 일관성의 변화는 유의하지 않았으나, 숙련도 그룹 간의 일관성의 변화는 유의하게 나타났다. 이는 비숙련자가 tDCS의 형태에 따른 적용방법

과 관계없이 내적타이밍 훈련만으로도 외적타이밍 과제 수행의 일관성에 영향을 미친다는 결과를 도출할 수 있다.

2. tDCS의 자극 형태에 따른 내적타이밍 훈련의 변화

1) 정확성(반응시간오차)

본 연구는 이틀에 걸친 내적 타이밍 훈련을 통해 외적타이밍 과제의 사전-사후 변화를 알아본 연구이다. tDCS를 착용한 채 양극(anode)자극을 받은 그룹과 받지 않은 그룹으로 나뉘어 내적타이밍 훈련을 받은 첫날과 둘째 날의 훈련 결과를 향상도%로 나타내었다<그림18>.

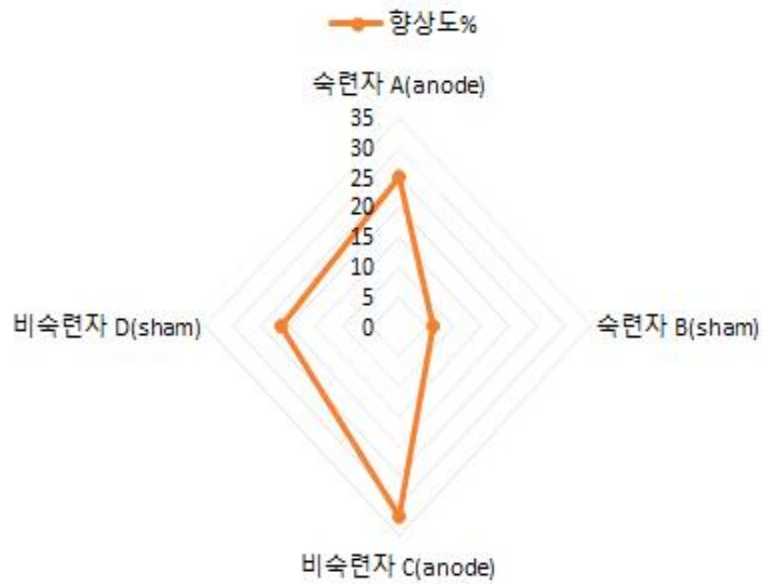


그림 18. 반응시간 오차의 향상도 (내적타이밍)

내적타이밍 훈련의 정확성의 향상도(%)를 살펴본 결과 비숙련자는 숙련자 보다 높은 내적타이밍 훈련의 정확성 향상을 보이는 것으로 나타났다. 특히 tDCS의 양극자극(anode)을 적용한 그룹 A(anode)와C(anode)에서 적용하지 않은 그룹 B(sham)와D(sham)보다 높은 향상을 보였으며 이는 유의한 수준을 나타내었다. 내적타이밍 학습과 같이 tDCS를 적용한 연속적인 반응시간의 과제 수행 연구에서도 이러한 경향이 비슷하게 나타났다. 소뇌에 양극(anode)과 무극(sham)을 적용한 그룹 간의 비교를 통해 양극자극(anode)을 받은 그룹이 내적타이밍 훈련 과정에 영향을 미쳐 결과적으로 반응시간의 오차를 줄인 바 있다(Ferrucci et al, 2013).

3. 종합논의

본 연구에서는 tDCS의 자극형태(2수준: anode, sham)에 따라 다르게 적용시킨 각 그룹별 내적 타이밍 훈련은 외적타이밍 과제 수행의 정확성과 일관성의 변화에 어떠한 차이를 나타내는지 알아보려고 하였다. tDCS의 자극 형태에 따른 그룹별 내적타이밍 훈련이 외적타이밍 과제 수행에 유의한 수준을 나타내지 않았지만, 숙련자와 비숙련자의 그룹별 과제 수행의 정확도와 일관성에서 유의한 결과를 나타냈다. 그리고 내적타이밍 훈련 과정에서 tDCS의 양극(anode)자극을 받은 그룹이 자극을 받지 않은 그룹(sham group)에 비해 반응시간의 오차범위를 줄이는 효과를 가져왔다. 지금까지의 연구에서는 동일한 학습수준을 대상으로 tDCS를 적용한 연구들이 대부분이었으나, 이는 비침습뇌자극이 상위 수준에 있는 엘리트 선수에게도 똑같은 적용이 가능한지 알아보기 위한 실험이 설계되었다. 따라서, tDCS의 자극 형태에 따른 타이밍 과제의 정확성과 일관성에는 유의한 차이를 나타내지 않았지만, 숙련도별 타이밍 효과는 유의하게 나타났다. 또한, 내적타이밍 훈련을 하는 과정에서 tDCS의 자극형태에 따른 유의한 수준을 나타

내며, 내적타이밍 도중 tDCS의 양극자극(anode)은 타이밍 정확도를 향상시키는 효과를 볼 수 있다. 하지만 내적 타이밍 훈련의 정확도 향상이 외적 타이밍 과제 수행의 정확성 변화에는 영향이 미치지 않았음을 알 수 있다. 사실, 이와 같이 ms 단위의 짧은 반응시간을 줄이는 학습을 토대로 연구를 설계한 경우 과제의 복잡성과 특수성을 고려하여 오랜 학습기간과 더 많은 피험자가 참여되어야 좀 더 뚜렷한 변화를 관찰할 수 있을 것으로 사료된다.

VI. 결론 및 제언

본 연구의 목적은 tDCS의 자극 형태에 따른 내적타이밍 훈련 시 외적타이밍 과제 수행의 그룹별 효과의 차이를 밝히는 데 있다. 14명의 야구선수(숙련자)와 14명의 일반인(비숙련자)은 각각 두 그룹으로, tDCS의 양극(anode)을 적용한 그룹과 전기 자극을 주지 않은 무극그룹(sham)으로 나뉘었다. 실험은 사전-외적타이밍 과제에서 피험자의 타이밍 반응시간을 측정하고 난 3주 후, tDCS의 자극 형태에 따라 다른 형태의 전기 자극을 적용 받은 채 인터랙티브 메트로놈을 이용하여 내적타이밍 훈련을 2회 실시하였다. 2회의 훈련이 끝난 이 후, 다시 사후-외적타이밍 과제를 측정하는 실험 방법으로 외적타이밍의 사전-사후의 측정결과로 얻어낸 그룹별 반응시간의 오차와 평균 가변오차를 통해 타이밍의 정확성과 일관성을 비교 분석하였다.

1. 결론

본 연구에서는 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, tDCS의 양극자극(anode)을 준 내적타이밍 훈련 그룹A와 C에서 무극자극(sham)을 적용한 그룹B와 D보다 사후측정 시 정확성이 높아지는 경향을 나타내었지만, tDCS에 따른 그룹 간 유의한 차이는 없었고, 숙련도에 따른 정확성의 변화는 유의한 차이를 나타냈다.

둘째, tDCS의 자극 형태에 따른 숙련도별 일관성의 변화는 유의하지 않았으나, 숙련도 그룹 간의 일관성 변화는 유의한 수준을 나타내었다.

셋째, tDCS의 자극 형태에 따른 숙련도별 내적타이밍 훈련의 효과는 유의한 결과가 나타났다. 본 연구는 tDCS의 자극과 동시에 내적타이밍 훈련을 받은 결과 양극자극(anode)을 적용한 그룹에서 내적타이밍 훈련의 반응시간의 오차가 줄어드는 결과를 나타내었다.

이는 tDCS의 양극자극(anode)이 외적타이밍의 정확성 변화에는 효과가 있지만 유의한 차이를 나타낼 수준의 효과는 아닌 것으로 판단되며, 내적타이밍의 훈련과정에서 수행에 대한 안정성이 높은 숙련자 일수록 수행의 변화는 크지 않았음을 알 수 있었다. 반면, 비숙련자에게서 정확성 변화의 유의한 수준을 나타남을 알 수 있었고, 이러한 결과는 비숙련자의 타이밍 훈련의 효과가 숙련자에 비해 더 많은 내적타이밍 학습효과의 영향을 받았음을 나타낸다.

2. 제언

본 연구를 바탕으로 후속 연구에서 고려할 제한사항은 다음과 같다.

1) 연구대상 측면

타이밍 학습을 하는데 있어 피험자는 심리적 요인 및 생리적 요인들과 기온, 습도에 영향을 받을 수 있고 외적타이밍 과제 수행 시 날아오는 불빛의 선명도는 주변의 조도에 의해 개개인이 지각하는 것이 서로 다를 수 있다. 또한 실험 참가자는 20대 대학생 남성 피험자로 한정되었으며, 개인이 가지고 있는 고유의 타이밍 템포와 리듬은 각기 다르기 때문에 타이밍 과제 수행 시 측정되는 반응시간은 서로 다를 수 있다. 그리고 스윙동작에서 개인마다 다른 움직임의 패턴이 존재 할 수 있으며, 내적타이밍을 학습

하는 과정에서 tDCS의 자극의 형태에 따라 서로 다른 영향을 받을 수 있다. 또한 내적타이밍 훈련에서는 인터랙티브 메트로놈을 이용하여 2회 훈련을 진행하였으나 이는 개개인의 기술 학습 능력에 따라 다르게 영향을 미칠 수 있다.

2) 연구과제 측면

실제 야구공을 타격하는 것이 아니라 날아오는 불빛의 움직임을 야구공이라 생각하고 타격하는 과제이기 때문에 이 상황을 일반적인 상황으로 일반화하기에는 한계가 따른다. 또한 스윙 시 같은 지점을 지나가도록 학습 하였음에도 불구하고 개개인의 스윙각도는 차이가 있을 수 있다. 추후 연구에서는 스윙각도를 측정할 수 있는 각 변위 측정기를 이용해 정확한 통제가 이루어져야 한다.

3) 실험도구 및 측정방법 측면

실험에서 사용된 tDCS는 사전연구에서 밝혀낸 정보를 근거로 소뇌부분에 자극을 주었으나, 이는 정확한 소뇌부분을 찾아내기 위해 자기공명영상을 이용하는 것이 더욱 정확한 부위를 알아 낼 수 있다. 또한, 외적타이밍 과제 수행 시 날아오는 불빛의 속도는 5가지 속도로 다양하게 적용되었지만, 속도가 빨라질수록 비숙련자에게는 다소 난이도가 높은 과제일 수 있다.

4) 연구절차 측면

사후검사를 통하여 사전검사와의 단시간적인 수행 변화를 분석하였지만 이후의 추가검사 및 파지검사는 실시하지 않았다. 그렇기 때문에 시간에

따른 학습의 변화 추세 및 영구적인 학습의 변화를 의미하는 효과 면에서 제한점을 가진다. 이후 진행 될 연구에서는 다양한 검사시기와 과제검사가 요구된다.

5) 연구분석 측면

본 연구에서는 tDCS의 자극 형태에 따른 내적타이밍 훈련이 외적타이밍 과제 수행에 어떤 변화를 가져올 것인가를 중점적으로 분석되었다. 외적타이밍 과제 수행 시 날아오는 자극의 불빛 속도를 5가지 다른 속도로 제시하였으나 분석 시 각 속도에 따른 tDCS를 변화를 본 것이 아니라 5가지 속도의 평균의 반응시간오차를 적용해 나타낸 결과 값이다. 각 속도에 따른 정확도의 변화 또한 추후 연구에서 다루어져야 한다.

참 고 문 헌

- 김선진. (1996). 타이밍과제의 시간과 공간 정확성. *한국스포츠심리학회지*, 7(2), 40-48.
- 김선진. (2000). *운동학습과 제어*. 도서출판 대한미디어.
- 김선진. (2010). *운동학습과 제어*. 서울: 대한 미디어.
- 김석진. (2015). *젊은성인과 노인의 동적 평형성 학습과 제어*. 박사학위논문. 서울대학교, 서울.
- 김충일. (2008). *태권도 숙련도에 따른 예측 능력과 시각 탐색전략연구*. 석사학위논문. 서울대학교 대학원, 서울.
- 박지원. (2003). *편측 운동학습에 따른 뇌 신경망의 가소성과 교차훈련의 효과*. 박사학위논문. 전북대학교 대학원, 전북.
- 박지원, 김종만, 서정환, 김연희. (2002). 편측 협응훈련에 의한 운동신경망의 재조직 및 교차훈련의 효과-사례연구. *한국전문물리치료학회지*, 9(3), 67-76.
- Abernethy, B., & Zawi, K. (2007). Pickup of essential kinematics underpins expert perception of movement patterns. *Journal of motor behavior*, 39(5), 353-367.
- Antal, A., Boros, K., Poreisz, C., Chaieb, L., Terney, D., & Paulus, W. (2008). Comparatively weak after-effects of transcranial alternating current stimulation (tACS) on cortical excitability in humans. *Brain stimulation*, 1(2), 97-105.
- Barker, A. T., Jalinous, R., & Freeston, I. L. (1985). Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex. *The Lancet*, 325(8437), 1106-1107.
- Ball, T., Schreiber, A., Feige, B., Wagner, M., Lücking, C. H., & Kristeva-Feige, R. (1999). The role of higher-order motor areas in voluntary movement as revealed by high-resolution EEG and fMRI. *Neuroimage*, 10(6), 682-694.
- Boggio P. S., Zaghi S., & Fregni F. (2006). Modulation of emotions associated

- with images of human pain using anodal transcranial direct current stimulation (tDCS). *Neuropsychologia*, *47*, 212-217.
- Borgeaud, P., & Abernethy, B. (1987). Skilled perception in volleyball defense. *Journal of sport psychology*, *9*(4), 400-406.
- Bullard, L. M., Browning, E. S., Clark, V. P., Coffman, B. A., Garcia, C. M., Jung, R. E., & Weisend, M. P. (2011). Transcranial direct current stimulation's effect on novice versus experienced learning. *Experimental brain research*, *213*(1), 9-14.
- Callan, D. E., & Naito, E. (2014). Neural processes distinguishing elite from expert and novice athletes. *Cognitive and Behavioral Neurology*, *27*(4), 183-188.
- Creutzfeldt, O. D., Fromm, G. H., & Kapp, H. (1962). Influence of transcortical dc currents on cortical neuronal activity. *Experimental neurology*, *5*(6), 436-452.
- Doyon, J., Song, A. W., Karni, A., Lalonde, F., Adams, M. M., & Ungerleider, L. G. (2002). Experience-dependent changes in cerebellar contributions to motor sequence learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *99*(2), 1017-1022.
- Fang, Y., Siemionow, V., Sahgal, V., Xiong, F., & Yue, G. H. (2001). Greater movement-related cortical potential during human eccentric versus concentric muscle contractions. *Journal of Neurophysiology*, *86*, 1764-1772.
- Ferrucci, R., Brunoni, A. R., Parazzini, M., Vergari, M., Rossi, E., Fumagalli, M., & Priori, A. (2013). Modulating human procedural learning by cerebellar transcranial direct current stimulation. *The Cerebellum*, *12*(4), 485-492.
- Ferrucci, R., Cortese, F., & Priori, A. (2015). Cerebellar tDCS: how to do it. *The Cerebellum*, *14*(1), 27-30.
- Ferrucci, R., Marceglia, S., Vergari, M., Cogiamanian, F., Mrakic-Sposta, S., Mamelì, F., Zago, S., & Priori, A. (2008). Cerebellar transcranial direct current stimulation impairs the practice-dependent proficiency increase in working memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20*(9), 1687-1697.

- Fleury, M., Bard, C., Gagon, M., & Teasdale, N. (1992). Coincidence-anticipation timing: The perceptual-motor interface. In L. Proteau & D. Elliott(Eds.), vision and motor control, *Elsevier Science Publishers B. V.* 315-334.
- Frimalm, R. (2012). The Effects Of Interactive Metronome Training On Female Soccer Players Timing Ability.
- Honda, M., Deiber, M. P., Ibáñez, V., Pascual-Leone, A., Zhuang, P., & Hallett, M. (1998). Dynamic cortical involvement in implicit and explicit motor sequence learning. *Brain*, *121*, 2159-2173.
- Jagacinski, R. J., Greenberg N, & Liao, M.J. (1997). Tempo, Rhythm and Aging in golf. *Journal of motor behavior*. *29*(2), 159-173.
- Jantzen, K. J., Oullier, O., Marshall, M. L., Steinberg, F. L., & Kelso, J. A. S. (2007). A parametric fMRI investigation of context effects in sensorimotor timing and coordination. *Neuropsychologia*, *45*(4), 673-684.
- Jantzen, K. J., Steinberg, F. L., & Kelso, J. S. (2009). Coordination dynamics of large-scale neural circuitry underlying rhythmic sensorimotor behavior. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *21*(12), 2420-2433.
- Karni, A., Meyer, G., Rey-Hipolito, C., Jezzard, P., Adams, M. M., Turner, R., & Ungerleider, L. G. (1998). The acquisition of skilled motor performance: fast and slow experience-driven changes in primary motor cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *95*(3), 861-868.
- Karni A, Meyer G, Jezzard P, Adams M. M., Turner R, & Ungerleider LG. (1995). Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Nature*. *377*(6545), 155-158.
- Kida, N., Oda, S., & Matsumura, M. (2005). Intensive baseball practice improves the Go/Nogo reaction time, but not the simple reaction time. *Cognitive brain research*, *22*(2), 257-264.
- Kidgell, D. J., Goodwill, A. M., Frazer, A. K., & Daly, R. M. (2013). Induction of cortical plasticity and improved motor performance following unilateral and bilateral transcranial direct current stimulation of the primary motor cortex. *BMC neuroscience*, *14*(1), 64.

- Kwon, Y. H., Ko, M. H., Ahn, S. H., Kim, Y. H., Song, J. C., Lee, C. H., & Jang, S. H. (2008). Primary motor cortex activation by transcranial direct current stimulation in the human brain. *Neuroscience letters*, *435*(1), 56-59.
- Kristeva-Feige, R., Rossi, S., Feige, B., Mergner, T., Lücking, C. H., & Rossini, P. M. (1997). The Bereitschaftspotential paradigm in investigating voluntary movement organization in humans using magnetoencephalography (MEG). *Brain Research Protocols*, *1*(1), 13-22.
- Leonard CT. (1998). The Neuroscience of Human Movement. USA, *Mosby*. 192-194.
- Lewis, P. A., & Walsh, V. (2005). Time perception: Components of the brain's clock. *Current Biology*, *15*(10), 389-391.
- Maman, P., Gaurang, S., & Sandhu, J. S. (2011). The effect of vision of training on performance in tennis players. *Serbian Journal of Sports Sciences*, *5*(1).
- Martin, J. L. R., Barbanoj, M. J., Schlaepfer, T. E., Thompson, E., Pérez, V., & Kulisevsky, J. (2003). Repetitive transcranial magnetic stimulation for the treatment of depression Systematic review and meta-analysis. *The British Journal of Psychiatry*, *182*(6), 480-491.
- Mauk, M. D., Medina, J. F., Nores, W. L., & Ohyama, T. (2000). Cerebellar function: coordination, learning or timing?. *Current Biology*, *10*(14), R522-R525.
- Mauk, M. D., & Buonomano, D. V. (2004). The neural basis of temporal processing. *Annual Review of Neuroscience*, *27*, 307-340.
- McPherson, S. L. (1993). The influence of player experience on problem solving during batting preparation in baseball. *Journal of Sport & Exercise Psychology*.
- Merton, P. A., & Morton, H. B. (1980). Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject.
- Miranda, P. C., Faria, P., & Hallett, M. (2009). What does the ratio of injected current to electrode area tell us about current density in the brain

- during tDCS?. *Clinical Neurophysiology*, 120(6), 1183-1187.
- Morton, S. M., & Bastian, A. J. (2004). Cerebellar control of balance and locomotion. *The Neuroscientist*, 10(3), 247-259.
- Newell, K. M. (1991). Motor skill acquisition. *Annual review of psychology*, 42(1), 213-237.
- Newell, K. M., Carlton, L. G., Carlton, M. J., & Halbert, J. A. (1980). Velocity as a factor in movement timing accuracy. *Journal of Motor Behavior*, 12(1), 47-56.
- Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2000). Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *The Journal of physiology*, 527(3), 633-639.
- Nobre, A. C., & O'Reilly, J. (2004). Time is of the essence. *Trends in cognitive sciences*, 8(9), 387-389.
- Oldfield R C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The edinburg inventory. *Neuropsychologia*. 9(1), 97-113.
- Penton-Voak, I. S., Edwards, H., Percival, A., & Wearden, J. H. (1996). Speeding up an internal clock in humans? Effects of click trains on subjective duration. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 22(3), 307.
- Pope, P. A. (2015). Modulating Cognition Using Transcranial Direct Current Stimulation of the Cerebellum. *Journal of visualized experiments: JoVE*, (96).
- Popesco, M. C., Frosthalm, A., Rejniak, K., & Rotter, K., & Rotter, A. (2004). Digital transcriptome analysis in the aging cerebellum. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1019(1), 58-63.
- Poulton, E. C. (1957). On prediction in skilled movements. *Psychological bulletin*, 54(6), 467.
- Priori, A. (2003). Brain polarization in humans: a reappraisal of an old tool for prolonged non-invasive modulation of brain excitability. *Clinical Neurophysiology*, 114(4), 589-595.
- Purpura, D. P., & McMurtry, J. G. (1965). Intracellular activities and evoked potential changes during polarization of motor cortex.

- Journal of Neurophysiology*, 28(1), 166-185.
- Petersen, S. E., Van Mier, H., Fiez, J. A., & Raichle, M. E. (1998). The effects of practice on the functional anatomy of task performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(3), 853-860.
- Petersen, S. E., Van Mier, H., Fiez, J. A., & Raichle, M. E. (1998). The effects of practice on the functional anatomy of task performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(3), 853-860.
- Raymond, J. L., Lisberger, S. G., & Mauk, M. D. (1996). The cerebellum: a neuronal learning machine?. *Science*, 272(5265), 1126-1131.
- Reichenbach, J. R., Feiwel, R., Kuppusamy, K., Bahn, M., & Haacke EM. (1998). Functional magnetic resonance imaging of the basal ganglia and cerebellum using a simple motor paradigm. *Magnetic Resonance Imaging* 16(3), 281-287.
- Rubia, K. & Smith, A. (2004). The neural correlates of cognitive time management: A review. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 64, 329-340.
- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological review*, 82(4), 225-260.
- Schmidt, R. A. (1988). Motor and action perspectives on motor behaviour. *Advances in psychology*, 50, 3-44.
- Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2005). motor control and learning: A behavioral emphasis. Champaign, IL: *Human Kinetics*.
- Schmidt, R. A. (1991). Motor learning and Performance: From principles to practice. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Schmidt, R. A., & D. E. (1991). Methodology for motor learning: A paradigm for kinematic feedback. *Journal of Motor Behavior*, 23, 13-24.
- Schmidt, R. A., & Young, D. E. (1991). Methodology for motor learning: a paradigm for kinematic feedback. *Journal of motor behavior*, 23(1), 13-24.
- Schweizer, R., Braun, C., Fromm, C., Wilms, A., & Birbaumer, N. (2001). The distribution of mislocalizations across fingers demonstrates

- training-induced neuroplastic changes in somatosensory cortex. *Experimental brain research*, 139(4), 435-442.
- Shaffer, R. J., Jacokes, L. E., Cassily, J. F., Greenspan, S. I., Tuchman, R. F., & Stemmer, P. J. (2001). Effect of Interactive Metronome® training on children with ADHD. *American Journal of Occupational Therapy*, 55(2), 155-162.
- Snoddy, G. S. (1926). Learning and stability: a psychophysiological analysis of a case of motor learning with clinical applications. *Journal of Applied Psychology*, 1(1), 1.
- Sparing, Felix M. Mottaghy. (2008). Noninvasive brain stimulation with transcranial magnetic or direct current stimulation (TMS/tDCS)-From insights into human memory to therapy of its dysfunction. *Methods*. 44(4), 329-337.
- Spencer, R. M., Zelaznik, H. N., Diedrichsen, J., & Ivry, R. B. (2003). Disrupted timing of discontinuous but not continuous movements by cerebellar lesions. *Science*, 300(5624), 1437-1439.
- Smith, A. L., & Staines, W. R. (2006). Cortical adaptations and motor performance improvements associated with short-term bimanual training. *Brain research*, 1071(1), 165-174.
- Shaffer, R. J., Jacokes, L. E., Cassily, J. F., Greenspan, S. I., Tuchman, R. F., & Stemmer, P. J. (2001). Effect of Interactive Metronome® training on children with ADHD. *American Journal of Occupational Therapy*, 55(2), 155-162.
- Toni, I., Krams, M., Turner, R., & Passingham, RE. (1998). The time course of changes during motor sequence learning: A whole-brain fMRI study. *Neuroimage*. 8(1), 50-61.
- Ungerleider, LG., Doyon. J., & Karni A. (2002). Imaging brain plasticity during motor skill learning. *Neurobiology of Learning and Memory* 78(3), 553-564.
- Vines, B W., Cerruti, C., & Schlaug G. (2006). Dual-hemisphere tDCS facilitates greater improvements for healthy subjects' non-dominant hand compared

- to uni-hemisphere stimulation. *BMC Neuroscience*, 9, 103.
- Whitacre, C. A., & Shea, C. H. (2002). The role of parameter variability on retention, parameter transfer, and effector transfer. *Research quarterly for exercise and sport*, 73(1), 47-57.
- Wollstein, J. R. & Abernethy, B. (1988). Timing structure in squash strokes: Further evidence for the operational timing hypothesis. *Journal of Human Movement Studies*, 15(2), 61-79.
- Williams, L. R. T., Katene, W. H., & Fleming, K. (2002). Coincidence timing of a tennis stroke: Effects of age, Skill level, gender, stimulus velocity, and attention demand. *Research Quarterly for Exercise and sport*, 73(1), 28-37.
- Williams, A. M., Ward, P., Knowles, J. M., & Smeeton, N. J. (2002). Anticipation skill in a real-world task: measurement, training, and transfer in tennis. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8(4), 259.
- Zanone, P. G., & Kelso, J. A. S. (1992). Evolution of behavioral attractors with learning: Nonequilibrium, phase transitions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23(5), 1454-1480.

Abstract

Comparison of motor skill levels between experts and non-experts according to the effect of internal timing training with non-invasive brain stimulation (tDCS) on the external timing task

Seo, Hye Jin

Department of Physical Education

Graduate School

Seoul National University

The purpose of this study is to investigate and compare motor skill levels between expert and non-experts according to the effect of internal timing training with non-invasive brain stimulation(tDCS) on the external timing task. The following experiment examined fourteen university students (14 male; age range 20-30, mean = 24, sd = 4.5) and fourteen baseball players (14 male; age range 20-25, mean = 21, sd = 4). All participants had no history of neurological disease and were right-handed as verified by the modified Edinburgh Handedness Scale (Oldfield, 1971). The twenty-eight participants were divided

into four groups of seven persons each which included; expert A(anode), expert B(sham), non-expert C(anode), non-expert D(sham). Group A and C received 15 minutes of tDCS over the cerebellum while participants trained internal timing task. Group B and D received 5 seconds of tDCS on the same area but the tDCS was then switched off without the participants knowledge.

The experiment took place over a period of three days. On the first day of the experiment, all participants tested their external timing task and 2 weeks later, they were tested on their internal timing training with the tDCS applied for two sessions during that day. At the end of the second day, participants tested their external timing task again to compare the reaction time to results before and after the treatment. Based on the data from these measurements, the independent variable is accuracy and the variable of external timing task, as well as the accuracy of the internal timing task.

The results of this study were drawn as follows, the type of tDCS(anode, sham) between expert versus non-expert had different effectiveness according to the level of motor skills, but not the type of tDCS applied(anode vs sham). Depending on the groups(expert, non-expert) motor skill levels were show significant improvement of the accuracy and variable in internal timing with tDCS(anode) and its non-expert had bigger improvements than expert in external timing task. In addition, accuracy of internal timing training

Key words : non-invasive brain stimulation, transcranial direct current stimulation, cerebellum, expert, non-expert, anode, sham

Student number: 2013-23393