Abstract

Effects of Interactive Metronome(IM) training on motor timing, EEG, and putting performance in golf: A neuropsychological approach

Kim, Pil Jung
Major in Sport Psychology
Dept. of Physical Education
The Graduate School of
Chung-Ang University
Advisor: Yoo, Jin. Ph.D.

The purpose of this study is to examine the effect of IM training on the motor timing, EEG, and putting performances of golfers. Participants were 34 elite golfers and they were assigned to either the experimental group(i.e., IM training group, n=18) or control group(n=16). The golfers in the experimental group received a series of IM training(total of 12 sessions) and those in the control group conducted putting practice while the experimental group participated in IM training.

In order to determine the effect of IM training on dependent variables, pre, mid, and post-test were conducted. Changes in the motor timing were identified through Long Form Assessment(LFA) of IM. While putting, EEG of prefrontal lobe was measured and attentiveness(RSMT) was identified by analyzing EEG. Putting

dCollection CAU

Analyzer(SAMPUTTLAB) and 50-ball test were used to check the putting performance. Two-way ANOVA with repeated measurement was conducted to check changes in the variables measured in each test and differences between the groups.

The conclusions of this study are shown below :

First, IM training is effective in improving the motor timing among golfers. All motor timing errors among the IM training group are significantly decreased. Based on this result, it is concluded that the function of the brain area related to timing has improved and affected the motor timing function.

Second, theta wave of the left and right prefrontal lobe of the experimental group showed a significant decrease and all SMR wave, Mid-Beta wave, High-Beta wave of the right prefrontal lobe showed a significant increase. Through this result, it can be contended that IM training is effective in decreasing the theta wave and affects the right brain activities while golfers are putting.

Third, the improvements in attentiveness were identified among the IM training group. This suggests that IM training may improve the communicative efficiency between the brain areas of white matter tract and information process. At the same time, the functions of attentional system are improved.

Fourth, IM training group showed an improvement in putting timing. This result was shown as the increased motor timing ability was transferred to golf putting timing.

Fifth, IM training enhanced the field golf performance ability. The activation of the right brain function, attentiveness, motor

dCollection CAU

timing ability and putting timing improvement of golfers identified in this study seem to have had a positive effect on the putting field performance.

In conclusion, IM training had a positive influence on basic motor ability and motor skills and brought about positive neuropsychological changes. In particular, strengthening of motor coordination, timing ability and selective attention is considered to be shown in the process of synchronizing the external environment and internal movement during training. Besides, right brain activities can be interpreted to have had a positive impact on the space perception for hole cup or target and the ability to control temporal movement speed of the putter head in the golf putting situation. Therefore, as a single training protocol, IM training is expected to improve kinematic, neurological, and psychological functions all together among the elite golfers.

Key word: Interactive Metronome, IM training, brain timing, motor timing, attention, golf putting performance, EEG

dCollection CAU

creative commons

COMMONS DEED

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

dCollection

제 99 회 박사학위논문

지도교수 유 진

Interactive Metronome(IM)훈련이 운동타이밍, 뇌파, 골프퍼팅수행에 미치는 효과: 신경심리학적 접근

Effects of Interactive Metronome(IM) training on motor timing, EEG, and putting performance in golf: A neuropsychological approach

중앙대학교 대학원

체육학과 스포츠심리학전공

김 필 중

2016년 8월

Interactive Metronome(IM)훈련이 운동타이밍, 뇌파, 골프퍼팅수행에 미치는 효과: 신경심리학적 접근

Effects of Interactive Metronome(IM) training on motor timing, EEG, and putting performance in golf: A neuropsychological approach

이 논문을 박사학위논문으로 제출함

2016년 8월

중앙대학교 대학원

체육학과 스포츠심리학전공

김 필 중

dCollection CAU

김필중의 박사학위논문으로 인정함

심 사 위 원 장 _____인

심 사 위 원 _____인

심 사 위 원 _____인

심 사 위 원 _____인

심 사 위 원 _____인

중앙대학교 대학원

2016년 8월

dCollection CAU

목 차

I. 서론 ····· 1
1. 연구의 필요성 ····· 1
2. 연구목적 ····· 7
3. 연구가설 ····· 8
4. 조작적 정의 ····· 9

II. 이론적 배경 ····· 10
1. 브레인타이밍 ····· 10
1) 두뇌시계(Brain clock)의 개념 ····· 10
2) 타이밍의 신경학적 특성 ····· 11
3) 소뇌의 타이밍 기능 ····· 12
4) 브레인타이밍 신경망 ····· 13
5) 스포츠와 타이밍 ····· 14
2. 타이밍과 주의집중 ····· 16
1) 주의집중의 개념 ····· 16
2) 타이밍과 주의집중 신경기전 ····· 19
3) 주의집중과 뇌파 ····· 21
3. IM훈련 프로그램 ····· 23
1) IM훈련의 개념 ····· 23
2) IM훈련의 개요 ····· 25
3) IM훈련 원리 ····· 25
4) 신경가소성 ····· 28
5) IM훈련을 적용한 선행연구 ····· 31

dCollection CAU

III. 연구방법 ····· 33
1. 참여자 ····· 33
2. 측정도구 및 방법 ····· 35
3. 연구절차 ····· 45
4. 골프퍼팅을 위한 IM훈련 프로그램 ····· 46
5. 연구설계 ····· 48
6. 자료처리 ····· 49

IV. 결과 ····· 50
1. 운동타이밍 능력 검사 ····· 50
2. 뇌파와 주의집중지수 검사 ····· 55
3. 퍼팅수행능력 검사 ····· 66

V. 논의 ····· 71
1. 타이밍 능력의 변화 ····· 71
2. 뇌파와 주의집중력 변화 ····· 72
3. 퍼팅수행능력 변화 ····· 77

VI. 결론 및 제언 ····· 81
1. 결론 ····· 81
2. 제언 ····· 83

참고문헌 ····· 86

부 록 ····· 111

국문초록 ····· 119

Abstract ····· 121

dCollection CAU

표 목 차

Table 1. Result of t-test for equality of means ····· 34
Table 2. Task of long form assessment ····· 36
Table 3. Putting statistics for a sample of 99 PGA tour players ··· 42
Table 4. Motor timing Means and SD for IM and CON groups ····· 51
Table 5. Results of ANOVAs for motor timing ····· 52
Table 6. Theta wave Means and SD for IM and CON groups ····· 55
Table 7. Results of ANOVAs for Theta wave ····· 56
Table 8. SMR wave Means and SD for IM and CON groups ····· 58
Table 9. Results of ANOVAs for SMR wave ····· 59
Table 10. Mid-Beta wave Means and SD for IM and CON groups 60
Table 11. Results of ANOVAs for Mid-Beta wave ····· 61
Table 12. High-Beta wave Means and SD for IM and CON groups · 62
Table 13. Results of ANOVAs for High-Beta wave ····· 63
Table 14. RSMT Means and SD for IM and CON groups ····· 64
Table 15. Results of ANOVA for ratio of SMR + Mid-Beta & Theta wave ····· 64
Table 16. Putting skills performance Means and SD for IM and CON groups ····· 66
Table 17. Results of ANOVAs for putting skills performance ····· 67
Table 18. Putting field performance Means and SD for IM and CON groups ····· 69
Table 19. Results of ANOVAs for putting filed performance ····· 70

dCollection CAU

그 림 목 차

Figure 1. Human information processing model ····· 18
Figure 2. Large scale brain networks in cognition ····· 19
Figure 3. The brain clock and temporal processing ····· 25
Figure 4. Brain network communication and synchronization ····· 26
Figure 5. Attentional control system ····· 27
Figure 6. Component of Interactive metronome ····· 35
Figure 7. EEG test with putting performance ····· 39
Figure 8. SAM PUTTLAB ver.5.1 ····· 41
Figure 9. 50-Ball test ····· 44
Figure 10. Stimpmeter ····· 44
Figure 11. Research process model ····· 45
Figure 12. Research design ····· 48
Figure 13. Results of group x time for bilateral timing ····· 53
Figure 14. Results of group x time for adjusted timing ····· 53
Figure 15. Results of group x time for unadjusted timing. ····· 54
Figure 16. Results of group x time for Theta wave(Fp1, Fp2) ····· 57
Figure 17. Results of group x time for SMR wave(Fp2) ····· 59
Figure 18. Results of group x time for Mid-Beta wave(Fp2) ····· 61
Figure 19. Results of group x time for High-Beta wave(Fp2) ····· 63
Figure 20. Results of group x time for RSMT
(Ratio of SMR+ Mid-Beta & Theta) ····· 65
Figure 21. Results of group x time for putting timing ····· 68
Figure 22. Results of group x time for overall putting skills score 69
Figure 23. Results of group x time for putting field performance 70

dCollection CAU

I. 서론

1. 연구의 필요성

과거 골프선수들의 훈련은 골프스윙기술을 중심으로 이루어졌으나, 최근 골프경기력의 최상수행을 이끌어내기 위해 신체적, 기술적 훈련은 물론 심리적 훈련까지 실시하는 추세이다. 특히 각성조절과 주의집중 같은 심리기술은 다양한 경기상황에서 골프수행능력에 직접적인 영향을 미치기 때문에 매우 중요하다.

주의집중과 각성조절 같은 심리기술이 불안정한 상태에서 골프수행을 실시할 경우, 골프스윙의 템포, 리듬, 타이밍에 문제가 나타나는 것을 쉽게 볼 수 있다. 골프기술의 템포는 동작구간에 소요되는 시간이며, 리듬은 각 동작 템포의 비율을 의미한다. 타이밍은 기술의 목적에 적합한 템포와 리듬을 살려 성공적인 수행을 이끄는 시공간적 특성이다. 또한 운동기술에 적합한 신체내부시스템을 구축하여 동작을 제어하고 시공간적 동작순서를 형성한다(Buekers, Pauwels, & Meugens, 1988). 즉 타이밍은 조화로운 움직임을 만드는데 필수적인 요소이므로(Schmidt & Wrisberg, 2004), 골프선수와 지도자 그리고 연구자들은 일관된 수행과 수행력 향상의 핵심으로 좋은 타이밍을 꼽고 있다(Neal, Lumsden, Holland, & Mason, 2008; Pelz & Frank, 1999; Watson, 1998). 따라서 골프교습현장 지도자들은 경험을 바탕으로 한 타이밍 향상을 위해 다양한 연습방법을 개발해왔다. 예를 들면, 스윙을 할 때 자화(하나, 둘, 셋)를 이용하여 일정한 리듬을 만들고 그 리듬에 양발의 움직임을 맞춰 스윙하는 방식으로 정확한 타이밍을 위한 훈련을 한다거나 메트로놈 리듬을 들으며 골프기술을 수행하는 훈련을 해왔다.

골프기술에 관련된 선행연구에서도 운동학적 순서(kinematics sequence)와 같은 타이밍시스템은 효과적인 골프기술의 기반이 된다는 주장이 제기되

dCollection CAU

고 있다(Callaway, Glaws, Mitchell, Scerbo, Voight, & Sells, 2012). 골프스윙동작의 협응타이밍은 골프샷의 목표거리 변화에도 불변하는 특성으로(김태훈, 2014), 퍼팅이나 어프로치 기술에서 거리를 조절하고(Pelz & Frank, 1999) 일관된 수행에 결정적인 역할을 하므로(Marquardt, 2007) 기술수준이 높은 선수일수록 좋은 능력을 갖고 있다(Egret, Vincent, Weber, Dujardin, & Chollet, 2003; Grober & Cholewicki, 2008; Jagacinski, Kim, & Lavender, 2009). 예를 들면, 골프퍼팅 연구에서 숙련자의 백스윙과 포워드 스윙에 소요되는 시간의 비율을 확인한 결과, 포워드 스윙보다 백스윙에서 소요되는 시간이 2.7배 긴 것으로 확인되었으며 숙련된 골퍼의 퍼팅리듬의 일관성은 비숙련자보다 높게 나타났다(박진, 2000). 그밖에 여러 연구에서도 골프 숙련자와 비숙련자의 타이밍을 비교하여 유사한 결과를 도출하였다(김창욱, 2004; 김선진, 김수연, 2011; 박성진, 2008). 타이밍 능력 향상을 가져오는 효과적인 피드백 제공방법에 대한 연구결과가 소개되었지만, 실제 운동기술과 현장에 적용하기에는 한계가 있었다(한동욱, 2010; 박동진, 한동욱, 김용운, 2011). 따라서 현장친화적이며 직접적인 타이밍 능력의 향상을 위한 방법의 개발과 현장에서 사용되는 타이밍훈련의 효과를 검증하는 연구가 필요한 시점이다.

최근 타이밍과 운동수행의 관계연구에서 메트로놈을 이용한 타이밍훈련이 운동수행능력에 긍정적인 영향을 미친다는 내용이 소개되었다(Söğüt, Kirazci, & Korkusuz, 2012). 미시간대학교의 Libkuman, Otani, 그리고 Steger(2002)는 새로운 개념의 타이밍 훈련으로 컴퓨터 메트로놈 기반의 상호작용식 메트로놈(Interactive Metronome, 이하 IM)을 활용한 훈련을 제안하였다. IM은 신경계의 기능적, 구조적 변화가 일어나는 신경가소성(neuroplasticity)의 원리를 기반으로 개발한 감각-운동통합훈련 장비이다(Stein & Meredith, 1993). 신경가소성의 기능적, 구조적 변화는 후천적 노력으로 뉴런생성과 시냅스 작용의 효율성을 높여 두뇌기능을 향상시킬 수 있다는 것이다. IM은 타이밍의 신경학적 기전을 강화시키는 동시에 타

dCollection CAU

이밍과 관련된 두뇌영역의 기능을 향상시키는 것을 목적으로 한다. 기존의 청각리듬 또는 메트로놈을 활용한 타이밍 훈련에 비해 IM훈련은 컴퓨터 기반의 메트로놈을 사용해 훈련 참여자가 메트로놈 리듬을 따라 반복적인 동작을 실시하고, 그 동작과 메트로놈 리듬간의 오차에 대해 밀리세컨 단위의 즉각적 피드백을 제공한다는 것이다. 이 피드백은 시청각형태로 제공되어 참여자의 청각시스템에서 빠르게 시간적 패턴을 탐색해 안정되고 일정한 리듬패턴의 움직임을 형성하여 참여자가 다음 동작시간을 미리 예측하고 수정할 수 있게 한다(Thaut & Kenyon, 2003).

IM은 작업치료, 운동발달, 임상치료 등 다양한 영역에서 연구되어 빠른 정보처리, 운동계획, 순차적 운동행동에 영향을 미치는 것으로 확인되었다(Deary, 2012). 대표적으로 주의력결핍 과잉행동장애(ADHD)증세를 보이는 어린이에게 IM훈련을 적용한 결과 주의집중력, 운동기능, 언어능력, 읽기능력, 행동조절능력이 향상되었다(Shaffer, Jacokes, Cassily, Greenspan, Tuchman, & Stemmer, 2001). IM훈련은 난독증 증세 어린이들의 읽기속도, 유창성, 독해능력을 향상시켰고(Ritter, Colson, & Park, 2013) 외상성 뇌손상 환자의 인지기능 향상도구로 사용되어 기존의 비약물치료법에 비해 2배의 치료효과를 확인하였다(Nelson, MacDonald, Stall, & Pazdan, 2013). 또 작업기억, 주의집중, 창의적 사고와 같은 고차원 인지활동과 일반지능에도 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Bressler & Menon, 2010; Menon, 2011; Penke, Maniega, Bastin, Hernandez, Murray, Royle, & Deary, 2012; Raichle & Snyder, 2007).

최근 이러한 IM을 체육학에 적용한 연구도 활발해지고 있다. 골프연구에서 숙련된 성인골퍼에게 IM훈련을 적용한 결과 드라이버와 아이언샷 정확도가 30%이상 향상되었다(Libkuman, Otani, & Steger, 2002; Sommer & Rönnqvist, 2009). 이와 같은 연구결과는 지각된 리듬과 운동기술에서 요구되는 움직임의 리듬패턴이 일치하게 되면 운동수행능력이 향상된다는 주장을 지지하고 있다(Karageorghis & Terry, 2001). 또 다른 연구에서

dCollection CAU

골프선수에게 IM훈련을 적용한 결과, 골프스윙의 헤드스피드의 변화는 없었으나 정확성 향상에 원인이 되는 협응동작의 개선을 이뤄 IM훈련이 골프스윙의 운동학적 변인에도 긍정적으로 기여함을 확인하였다(Sommer, Häger, & Rönnqvist, 2014). 이들 연구에서 골프선수의 협응동작이 향상된 이유는 IM훈련이 뇌 기반의 운동제어전략을 통해 만들어지는 동작패턴과 타이밍의 동기화(synchronization)에 긍정적인 영향을 주기 때문이라고 설명하였다. 골프스윙 뿐만 아니라 골프퍼팅수행, 스포츠자신감이 동시에 향상된 연구도 확인된다(Henderson, 2010). 이처럼 IM에 관련된 골프연구들은 IM훈련 효과로 골프샷의 정확성과 골프스윙의 신체협응 기능의 향상을 확인하였고, 연구결과에 대한 원인을 신경계의 변화 때문이라고 정의하였다. 하지만 기존 연구들은 직접적인 두뇌의 기능변화에 대한 측정을 실시하지 않은 상태로 이론적 배경을 통해 현상을 해석하는데 그쳤다는 한계점이 있다. Miyake, Onishi, 그리고 Pöppel(2004) 역시 IM훈련에서 나타나는 주의집중력은 신경학적 활동이기 때문에 두뇌의 직접적인 검사가 필요하다고 제안하였다.

McGrew(2013)는 IM훈련의 결과로 나타나는 신경계의 변화과정을 3단계로 정리하여 보고하였다. 첫째 단계는 IM훈련을 통해 축색 및 수상돌기가 발달하여(Coss, Brandon, & Globus 1980) 뉴런의 시냅스 효율성이 높아지고(Trejo, Carro, & Torres-Aleman, 2001) 신경진동(oscillation)이 빨라져 두뇌에서 시간을 인식하는 해상도가 확대된다는 것이다. 둘째 단계는 향상된 시냅스가 백질신경로(white matter tracts)로 연결된 두뇌 영역 중 두정엽, 전두엽, 기저핵, 보조운동영역, 소뇌영역 간 신경망의 교신효율성을 높이는 것이다(McGrew, 2013). 소뇌, 기저핵, 보조운동영역 간 신경망은 섬세하고 정교한 운동계획 및 실행에 영향을 미치며(Ivry & Schlerf, 2008) 두정엽과 전두엽으로 구성된 신경망은 정보처리와 주의집중 같은 고차원 인지활동에 영향을 미치는 신경망이다. IM훈련효과의 셋째 단계는 다중 신경망의 효율성 증대로 정보처리 능력과 주의집중 제어시스템

dCollection CAU

(Attentional control system)의 기능이 향상되는 것이다(McGrew, 2013). 주의집중 제어시스템의 기능은 작업기억 내 정보를 유지하고 정신적 산만 요소를 통제하는 능력으로, 집중력과 복잡한 인지처리기능, 학습능력 등과 관련된다.

이와 같은 신경학적 기전은 IM훈련이 운동기능과 관련된 소뇌, 기저핵, 운동영역 등을 발달시켜 운동협응 시스템을 개선시킬 수 있다는 것을 설명하고 있다. 특히 IM훈련이 주의집중에 긍정적인 영향을 미친다는 연구결과를 토대로 운동수행 중 주의집중에도 이 같은 효과가 미치는지 확인할 필요가 있다. 그러나 IM훈련의 주의집중력 향상기능을 확인한 대부분의 선행연구(Leisman & Melillo, 2010)는 인지기능검사와 같은 질문지를 통해 주의집중력을 측정하였다. 두뇌를 직접 관찰한 연구에서 Alpiner(2004)는 기능적 자기공명영상(fMRI)을 이용하여 IM훈련적용 후 두뇌의 변화와 활성화된 영역을 확인하였지만, 이와 같은 뇌 영상 촬영은 검사실에서 주변의 금속을 모두 제거하고 피검자가 누운 상태에서 실시되기 때문에 스포츠 수행 중 나타나는 신경학적 정보를 확인하는 것은 불가능하다. 반면 뇌파측정은 비교적 움직임이 자유롭기 때문에 스포츠연구에 사용이 용이하다. 그리고 측정된 뇌파를 통해 다양한 신경학적 효과분석이 가능하기 때문에 본 연구에서는 IM훈련이 뇌파에 미치는 영향을 확인하고 측정된 뇌파를 분석하여 신경심리학적 주의집중의 변화를 살펴보려고 한다. 전전두엽의 세타파를 정신적 공황상태 또는 산만상태, SMR파와 중간 베타파를 정신적 집중으로 보는 관점에서 뇌파의 상대파워 값을 통해 신경심리학적 주의집중력 측정과 평가가 가능하다(Lubar, Swartwood, Swartwood, & O'Donnell, 1995). 즉 IM훈련을 통한 주의집중력의 향상은 세타파의 감소와 SMR파, 중간 베타파의 증가를 통해 관측될 것이다. 또한 뇌파를 이용하면 빠른 신경진동(oscillation)에서 나타나는 속파(12Hz~30Hz)를 통해 신경진동 속도의 변화와 두뇌영역의 활성도를 확인할 수 있다(Doyle, Yarrow, & Brown, 2005; Youngstedt, Dishman, Cureton, & Peacock, 1993). 따

dCollection CAU

라서 McGrew(2013)가 주장한 바와 같이 IM훈련이 신경진동 속도를 증가시킨다면 속파(12Hz~30Hz)의 증가를 예상할 수 있다.

IM훈련이 운동능력에 미치는 영향을 확인한 연구자들은 보다 복잡한 협응 요소를 가지고 있는 운동기술에 대한 현장친화적 적용의 필요성을 제언하였다(Thaut & Kenyon, 2003; Malcolm, Massie, & Thaut, 2009). 이러한 제언에 따라 골프 스윙, 테니스 스트로크, 축구 킥과 같이 복잡한 협응구조의 운동기술이 연구되었다(Keramidas, Patsiaouras, Papanikolaou, & Nikolaidis, 2004; Söğüt, Kirazci, & Korkusuz, 2012; Zachopoulou & Mantis, 2001). 그러나 McGrew의 가설에 따르면 운동기능과 관련된 IM효과의 기전은 소뇌와 기저핵을 중심으로 설명되고 있으며 소뇌, 기저핵, 보조운동영역의 교신은 미세한 움직임을 제어하는 기능에 관련된다(Ivry & Schlerf, 2008). 또 다른 연구에서도 IM훈련이 보조운동영역, 띠고랑 운동피질(cingulated motor cortex), 일차운동피질, 전운동피질 및 소뇌 활성화에 영향을 준다는 것을 기능적 자기공명영상(fMRI)을 통해 밝혀냈다(Debaere, Swinnen, Béatse, Sunaert, Van Hecke, & Duysens 2001). 소뇌와 기저핵은 운동협응과 정교한 운동제어에 관여하는 대표적인 두뇌영역이다. 따라서 IM훈련이 골프퍼팅과 같이 섬세하고 미세한 동작의 제어가 요구되는 기술에 미치는 영향을 확인하는 것이 필요하다. 또한 퍼팅은 골프 경기 수행의 43%를 차지하여 대회 성적과 결과를 결정짓는 가장 큰 요소(Alexander & Kern, 2005; Pelz & Frank, 1999; Pelz, 2000)로, 숙련된 선수를 위한 효과적인 연습방법의 개발이 절실하다. 따라서 본 연구에서는 전문골프선수들에게 IM훈련을 적용하여 운동 타이밍 능력의 변화와 골프퍼팅 시 일어나는 뇌파의 변화를 확인하고 뇌파를 통해 주의집중력의 변화를 알아보고자 하였다. 그리고 IM훈련의 현장적용 가능성을 타진해 보고자 실제 퍼팅수행능력 중 퍼팅 기술수행능력과 퍼팅 현장수행능력에 미치는 영향을 확인하였다.

dCollection CAU

2. 연구목적

본 연구에서는 전문골프선수들에게 6주간 12회기의 IM훈련을 적용하여 운동타이밍 능력의 변화와 뇌파측정을 통한 신경심리학적 특성변화, 그리고 퍼팅수행능력의 변화를 알아보았다. 본 연구에서 시행된 훈련의 타당성 검증과 운동타이밍 능력의 변화를 확인할 수 있는 전체형 검사(Long Form Assessment: LFA)를 실시하여 양측성 타이밍과 조정성 타이밍, 그리고 비조정성 타이밍 오차의 변화를 살펴보았다. 다음으로 신경심리학적 변화를 확인하기 위하여 뇌파측정을 실시하여, 퍼팅을 하는 순간 주의집중지수(Ratio of SMR+ Mid-Beta & Theta; RSMT)의 변화를 살펴보았다. 퍼팅수행능력은 초음파센서를 이용한 퍼팅분석기기를 사용하여 퍼팅성향, 퍼팅타이밍, 퍼팅일관성, 퍼팅기술점수를 확인해 퍼팅 기술수행능력을 알아보았다. 실제 퍼팅그린 위 50개의 지점에서 퍼팅을 수행하는 50-ball test를 통해 퍼팅 현장수행능력의 변화를 확인하였다. 이와 같은 과정을 통해 IM훈련이 골프선수들의 퍼팅수행 결과에 도움이 되는 타이밍 능력을 변화시킬 수 있는지 살펴보고, 더불어 주의집중의 가시적 변화를 확인하여 보다 객관적이고 현장친화적인 주의집중훈련의 필요성을 제안하고자 하였다.

dCollection CAU

3. 연구가설

본 연구에서는 운동타이밍, 뇌파, 퍼팅수행능력에 대한 IM훈련의 효과를 검증하기 위하여 다음과 같이 연구 가설을 설정하였다.

가설 1. IM훈련은 타이밍 정확성에 긍정적인 영향을 미칠 것이다.

(1) IM집단의 양측성 타이밍 오차가 감소할 것이다.
(2) IM집단의 조정성 타이밍 오차가 감소할 것이다.
(3) IM집단의 비조정성 타이밍 오차가 감소할 것이다.

가설 2. IM훈련은 퍼팅수행 시 뇌파변화에 긍정적인 영향을 미칠 것이다.

(1) IM집단의 세타파는 감소할 것이다.
(2) IM집단의 SMR, 베타파는 증가할 것이다.
(3) IM집단의 주의집중지수(RSMT)가 높아질 것이다.

가설 3. IM훈련은 퍼팅수행능력을 향상시킬 것이다.

(1) IM집단의 퍼팅 기술수행능력(퍼팅성향, 퍼팅타이밍, 퍼팅일관성, 퍼팅기술점수)이 향상될 것이다.
(2) IM집단의 퍼팅 현장수행능력이 향상될 것이다.

dCollection CAU

4. 조작적 정의

1) 골프퍼팅을 위한 IM훈련

본 연구에서 사용되는 IM훈련은 감각과 운동을 동시에 일으키는 감각-운동통합 훈련의 일종으로 청각, 시각, 촉각, 운동감각을 사용하는 훈련방법이다. 1992년 Greenspan박사에 의해 개발된 IM의 13가지 기본동작에 본 연구에서 개발한 골프퍼팅에 특화된 3가지 동작이 추가된다.

2) 골프퍼팅수행능력

골프퍼팅수행능력은 퍼팅 기술수행능력과 퍼팅 현장수행능력을 포함하고 있다. 퍼팅 기술수행능력은 임팩트 시 헤드의 각도, 퍼팅 중 헤드각도와 궤적의 변화 등을 포함한 '퍼팅성향', 백스윙/전체스윙, 백스윙/다운스윙, 백스윙/포워드스윙 등 퍼팅의 시간적 특징을 포함한 '퍼팅타이밍', 그리고 28가지 퍼팅 기술수행능력요소의 반복성을 확인하는 '퍼팅일관성'으로 구성된다. 퍼팅 현장수행능력은 실제 퍼팅그린에서 측정되며 1m간격으로 최대 5m까지의 퍼팅과제를 성공적으로 수행하는 50번의 퍼팅 시도에서 실시되는 총 퍼팅수를 이야기한다.

3) 브레인타이밍

브레인타이밍은 두뇌에서 뉴런이 시간정보를 측정하고 처리하는 과정이다. 또 브레인타이밍은 소뇌(cerebellum), 전두엽(frontal lobe), 측두엽(temporal lobe), 두정엽(parietal lobe), 기저핵(basal ganglia), 보조운동영역(supplementary motor area) 등 타이밍과제와 관련된 두뇌영역들이 활성화되는 타이밍의 신경학적 기전과 같은 개념이다.

dCollection CAU

II. 이론적 배경

1. 브레인타이밍

1) 두뇌시계(Brain clock)의 개념

인간은 시간의 흐름에 근거하여 대상을 지각하고 행동한다. 예를 들어 날아오는 공을 받기 위해서는 공의 이동속도를 통해 도착시간을 예측해야 한다. 또 자동차 운전을 할 때 위험요소를 발견하고 여유시간의 유무에 따라 브레이크를 밟을 것인지 핸들을 틀어 피할 것인지 판단하여 행동한다. 이러한 시공간적 예측과 반응은 두뇌를 기반으로 이루어진다. 지금까지 소뇌와 시상하부가 타이밍에 주로 관여하는 영역이라고 알려져 왔지만, 최근에는 다양한 뇌 영역의 교신을 통해 타이밍 기능이 실행된다는 것이 밝혀졌다(Kim, Han, Kim, & Han, 2015). 그렇다면 두뇌에서 타이밍 기능을 위한 기본적인 시간의 측정은 어떻게 이뤄지는가? 이에 대한 답은 뉴런의 활동에서 찾을 수 있다. 생체 내부의 시간 측정은 Pacemaker-Accumulator Model(PAM)을 통해 생성되는 '두뇌시계(brain clock)'라는 개념으로 소개되었다(Buhusi & Meck, 2005; Karmarkar & Buonomano, 2007). PAM의 내용을 요약하면 생체 내에서 시간을 지각할 때 뉴런은 각각 일정한 페이스로 활동을 시작한다. 시간에 대한 지각이 끝날 때 신경계에서 뉴런의 활동이 이루어진 정도를 추적하여 시간을 지각하게 된다는 것이다. 이러한 두뇌시계는 인간의 행동에 필수적이며 모든 복잡하고 정밀한 움직임에는 두뇌시계가 관여된다(Lewis & Walsh, 2005; Mauk & Buonomano, 2004).

Buhusi와 Meck(2005)는 인간의 타이밍시스템을 3가지로 구분하였다. 가장 긴 간격의 시스템은 수면과 배고픔 등과 같은 생체리듬을 포함하는 시

dCollection CAU

간단위의 주기타이밍시스템, 중간 간격의 인지적 사고와 지각 그리고 의사결정 등을 포함한 분 단위의 간격타이밍시스템, 마지막으로 가장 빠른 밀리세컨(ms)타이밍시스템이 그것이다. 밀리세컨타이밍은 말하기, 음악능력, 소뇌의 작용과 운동제어 및 협응 등의 활동을 포함한다. 이 중 운동과 관련된 인간행동의 밀리세컨타이밍 시스템은 단일 뇌 영역이 아닌 소뇌, 기저핵, 측두엽과 전전두엽 피질 등과의 교신을 통해 발생된다(Buhusi & Meck, 2005; Buonomano & Karmarkar, 2002; Lewis & Miall, 2006).

2) 타이밍의 신경학적 특성

신경학적 운동타이밍의 개념은 두뇌시스템에서 다양한 운동행동에 대한 신경전위를 시간단위로 측정하여(Mauk & Buonomano, 2004) 10ms에서 100ms의 단위로 정밀하게 조정된 신경학기전을 통해 근육의 활성화를 발생시키는 것이다(Buonomano & Laje, 2010).

뇌 영상촬영 기술을 이용하여 운동수행과 청각적 리듬 간 동기화(synchronization)에서 나타나는 신경학적 특성을 살펴본 결과, 운동과 청각리듬과의 동기화는 운동계획과 순서를 조직하는 뇌 부위들을 활성화시킨다는 것을 확인하였다(Bengtsson et al., 2009). 또 다른 뇌 영상촬영 연구에서는 운동수행 중 타이밍에 관련된 두뇌 영역의 활성화를 확인하였고, 외부환경 또는 특정상황이 가지고 있는 타이밍 정보에 따라 운동수행을 위한 내적타이밍 시스템이 변화한다는 것이 확인되었다(Jantzen, Oullier, Marshall, Steinberg, & Kelso, 2007). 이 외에도 양팔을 사용하는 운동과제에서 청각적 리듬이 운동계획, 순서화를 담당하는 중추신경계를 활성화시킨다는 연구(Swinnen & Duysens, 2012), 반복적 운동연습을 통해 동작이 자동화될 때 뇌에서는 그 동작의 시간적 정보를 저장한다는 연구(Lewis, Wing, Pope, Praamstra, & Miall, 2004), 연속기술과 비연속기술에서 소뇌의 타이밍 조절능력에 관한 연구(Spencer, Zelaznik, Diedrichsen, &

dCollection CAU

Ivry, 2003)들이 복잡한 운동수행과 타이밍의 관계와 관련된 신경학적 정보를 제공하였다.

3) 소뇌의 타이밍 기능

운동협응과 제어와 관련된 타이밍에서 가장 핵심이 되는 영역은 소뇌이다. 고밀도의 신경세포 구조인 소뇌는 운동계획, 운동제어와 학습, 그리고 타이밍 정확성에 기여를 하지만 직접적으로 운동을 발생시키지는 않는다.

소뇌는 운동학습 상황에서도 중요한 역할을 한다. 소뇌에 외부 감각정보가 입력되면서 그 정보는 부호화되어 작업기억(working memory)으로 일시 저장된다. 작업기억의 정보는 반복을 통해 장기기억(long-term memory)을 담당하는 두뇌영역에 영구 저장되어 운동기술이 필요한 시점에 관련정보를 인출하여 반응하도록 한다(Watson & McElligott, 1984). 소뇌는 두정엽을 비롯한 대뇌영역과 교신작용을 통하여 일정한 리듬정보를 만들어 저장하게 되어 운동기술을 학습하거나 자유도가 높은 동작을 성공적으로 수행하게 한다(Kim et al., 2015). 또 소뇌는 대뇌운동영역의 정보와 근육의 고유감각을 통합하여 비교, 분석한다. 그 분석결과는 다시 대뇌영역에서 하위 운동신경원으로 보내진다. 이러한 소뇌와 대뇌의 지속적인 교신은 동작시간패턴을 구축하여 자동화된 동작을 만들고 대뇌에 저장한다(Lewis et al., 2004; Spencer et al., 2003).

운동제어에서 소뇌는 내이의 전정기관과 함께 평형감각을 담당하고(Sage, 1984), 근육의 긴장과 이완을 조절하여 평형감각을 유지하며 자세를 제어한다(Mostofsky et al., 2009). 정적인 자세제어뿐만 아니라 이동기술에서도 소뇌의 역할은 중요하다(Barmack, 2003). 또한 걷기와 달리기 등 연속기술을 수행할 때 나타나는 일정한 시간패턴과 사지의 운동협응에도 영향을 미친다(Ilg, Giese, Gizewski, Schoch, & Timmann, 2008; Ilg, Golla, Thier, & Giese, 2007).

dCollection CAU

소뇌의 재현능력과 운동협응 기능을 기반으로 Ivry와 Schlerf(2008)는 소뇌타이밍 가설(cerebellar timing hypothesis)을 주장하였다. 소뇌타이밍 가설은 소뇌가 특정작업에서 요구되는 정확한 타이밍을 예측하고 수행할 수 있게 한다는 것이다. 운동동작의 시간정보가 소뇌피질의 신경세포에서 소뇌 깊숙이 위치한 소뇌핵으로 전달될 때 보다 정밀한 운동제어가 가능하며 복잡한 협응동작을 만들 수 있게 되는 것이다(Imfeld, Oechslin, Meyer, Loenneker, & Jancke, 2009; Mauk & Buonomano, 2004; Mauk, Medina, Nores, & Ohyama, 2000; Repp & Su, 2013; Rubia & Smith, 2004; Salman, 2002; Thach, 1998).

4) 브레인타이밍 신경망

타이밍과 관련된 뇌신경망의 활성화를 브레인타이밍이라고 할 수 있다. 브레인타이밍의 주된 두뇌영역은 소뇌이다. 여러 뇌 영상 연구에서 중앙신경망의 핵심적인 부분인 소뇌가 감각동기화 과제의 운동 타이밍작업을 지원한다고 보고되었다(Harrington, Lee, Boyd, Rapsack, & Knight, 2004; Ivry & Keele, 1989; Perrett, Ruiz, & Mauk, 1993; Spencer et al., 2003; Timman, Watts, & Hore, 1999). 그러나 타이밍은 소뇌의 독립적인 기능이 아니라 소뇌가 다른 두뇌영역과 교신회로를 형성하여 정보를 받아들이며 움직임과 관련된 기능을 조절하게 된다(Morton & Bastian, 2004). fMRI를 이용한 Stoodley, Valera, 그리고 Schmahmann(2012)의 연구결과에 따르면 일반적인 움직임 과제에서 소뇌는 전두엽과 감각운동피질(sensorimotor cortex)과 함께 활성화된 것을 확인하였다. 또 인지심리회전활동(mental rotation activation)과 작업기억(working memory)관련 과제와 같은 인지적 기능에서는 소뇌와 전전두엽, 두정엽피질(parietal cortex)이 동시에 활성화된 것을 확인하였다. 또 다른 뇌 영상 촬영 연구에서는 타이밍과 관련된 두뇌의 신경망을 알아보기 위해 두뇌의 활성도를 확

dCollection CAU

인한 결과, 타이밍 과제에서 뒤쪽 소뇌(posterior cerebellum), 보조운동영역(supplementary motor area), 중간 전두엽이랑(middle frontal gyrus), 하전두회(inferior frontal gyrus), 하두정엽(inferior parietal lobule), 기저핵(basal ganglia)이 활성화된 것을 확인하였다(Casper, Zilles, Laird, & Eickhoff, 2010; Wiener, Turkeltaubb, & Coslett, 2010). 브레인타이밍 신경망은 각 두뇌영역이 정보를 전달하고 비교하여 근육의 조절을 통해 정교하고 정확한 움직임을 만든다(Sage, 1984).

5) 스포츠와 타이밍

스포츠에서 타이밍은 시간에 관련된 개념이다. 스포츠 타이밍은 외적 타이밍(external timing)과 내적 타이밍(internal timing)으로 구분될 수 있다(Schmidt & Lee, 2014). 외적 타이밍은 일치 타이밍(coincident timing)이라고도 하는데 이는 특정동작 또는 신체부위와 외부 환경적 목표 간의 정확한 시공간적 일치성을 말한다(Wollstein & Abernethy, 1988). 내적 타이밍은 운동학적 순서(kinematic sequencing) 또는 운동순서(motor sequencing)와 같은 개념이다. 내적 타이밍은 운동기술을 시간적 단계로 나누어 볼 때 각 부분 동작 간 나타나는 시간간격이라 할 수 있다(Davids, Lees, & Berwitz, 2000; Ferdinands, Kersting, & Marshall, 2013; Putnam, 1993; Savelsbergh & Bootsma, 1994). 또 내적 타이밍은 시상(phasing) 또는 상대적 타이밍(relative timing)과 같은 개념으로 신체 내부에서의 시간에 따른 단계적 움직임으로 이해할 수도 있다. 활성근육의 시간구조와 조직, 운동형태의 리듬과 순서를 포함하고 있는 시상(phasing)은 가변적인 동작의 속도와 크기에도 불변하는 타이밍이다(Schmidt & Lee, 2014). 즉, 내적 타이밍은 외부의 표면 특성(surface feature)과 대조적으로 동작 발생의 원인이 되는 심층구조(deep structure)로 내적 타이밍기능이 높을수록 운동 기술의 각 하위영역을 순

dCollection CAU

차적으로 조화롭고 자연스럽게 수행할 수 있게 된다(Schmidt & Lee, 2014). 예를 들면, 야구의 피칭(pitching) 기술에서 투수는 일정한 움직임의 순서와 구조를 갖게 된다. 그 동작의 순서와 구조가 고정된 상태에서 시간의 유연성(timing flexibility)은 동작의 속도를 조절하여 더 빠르거나 느린공을 던질 수 있게 한다. 일정한 순서를 지닌 동작의 속도와 시간을 조절하는 것은 인간의 움직임이 지닌 시간적 특성이다(Ivry & Richardson, 2002). 이러한 특성은 걷기나 달리기 같은 이동기술에서의 속도조절이나 테니스나 탁구 같은 라켓스포츠의 기술발현 시에도 확인할 수 있다. 이처럼 특정 동작의 순서가 변함없는 상태에서 속도의 조절이 가능한 특성을 타이밍(timing)이라 한다.

Turvey(1990)는 스포츠의 타이밍은 효율적인 움직임을 만들기 위한 동작 시스템이며, 스포츠 타이밍의 구성요소는 '시공간적 요소의 결합'이라고 하였다. Zanone과 Kelso(1991)는 스포츠타이밍을 특정동작의 시간, 상태, 리듬을 맞추는 시간적인 조화라고 정의하였고, Schmidt와 Wrisberg(2004)는 타이밍은 숙련된 기술을 완성시키는 요인으로 기술수행에 관련된 신체분절 간 시간적 조화의 정확성이라고 설명하였다.

종합적으로, 타이밍은 하나의 운동기술에서 동시에 일어나는 다양한 신체분절의 움직임을 조절하는 능력이며(Beak et al., 2013; Horan & Kavanagh, 2012), 그 동작의 리듬과 템포를 제어하고 분산하는 능력이라고 할 수 있다(Kim, Jagacinski, & Lavender, 2011; Zachopoulou, Mantis, Serbezis, Teodosiou, & Papadimitriou, 2000).

dCollection CAU

2. 타이밍과 주의집중

1) 주의집중의 개념

주의집중력은 주의력과 집중력의 합성어이다. 주의력은 수많은 자극과 정보 중 필요한 것만 선택하여 기억하는 능력이며 집중력은 주의를 기울여 받은 정보를 장기기억으로 전송하는 능력이다. 또 이미 저장되어 있는 동작 생성정보를 만들고 상황에 적합한 전략을 구조화하여 인출하는 인지적 능력이다.

주의력은 선택, 지속, 제어, 분할의 네 가지 특성이 있다. 첫째, 선택주의력(selective attention)은 연극무대에서 주인공을 비추는 스포트라이트(spot light)와 같다. 주의를 기울일 대상 외의 모든 것을 무시하고 주의대상을 선택하는 것이다.

둘째, 지속주의력은 주의와 집중이 협력하여 이뤄진다. 산만한 다른 자극을 피해 선택된 주의를 유지하려는 능력이다. 지속주의력은 마치 연극무대에서 움직이는 주인공을 스포트라이트가 따라가는 것과 같다.

셋째, 주의 제어는 하향식 제어와 상향식 제어로 나누어진다(Taylor, 2003). 하향식 제어는 내부에 저장되어 있는 정보를 의식적으로 사용한다. 하향식 제어는 주도적 개념이며 의도적 주의이다. 예를 들면, 많은 사람들 속에서 친구를 찾는 것이다. 사전에 친구의 얼굴이 저장되어 있는 상태에서 그 얼굴을 찾기 위해 능동적으로 노력하기 때문이다. 상향식 제어는 예상치 못한 외부 자극을 받았을 때 일어난다. 예를 들면 미끄러운 바닥에서 중심을 잃거나 갑작스럽게 나타나는 밝은 빛과 큰 소리에 놀라는 것이다. 상향식 주의조절은 수동적으로 일어나며 자극 인식 후 100~200ms안에 아주 빠르게 일어난다.

넷째, 주의분할(divided attention)은 다수의 외부 자극을 동시에 병렬적으로 처리하는 능력이다. 각각의 자극이 각각 다른 인지적 요인을 요구할

dCollection CAU

때 성공적으로 처리될 수 있다. 따라서 시각적 정보를 받으면서 청각적 정보를 동시에 처리할 수 있는 것이다. 하지만 여러 개의 감각자극들이 각기 서로 다른 감각적 요소(ex. 시각과 청각)를 요구할 때는 비교적 쉽게 실행될 수 있지만, 그 자극들이 모두 하나의 감각적 요소(ex. 청각과 청각)를 필요로 할 때는 주의집중력의 제한이 나타난다. 예를 들어 귀로 음악을 들으며 눈으로 사물을 인식하기는 쉬우나 음악을 들으며 동시에 강의를 듣기에는 제한이 생긴다.

주의집중력을 더 자세하게 설명하기 위해서는 먼저 인간의 정보처리시스템(information processing system)을 이해하여야 한다. 인간의 정보처리시스템에서 외부 환경 정보는 가장 먼저 저장시스템(storage system)에 기억(memory)된다. 이런 일차적 기억이 단기감각기억(short term memory)이다. 두뇌 안에 단기감각기억이 생성될 때 각각의 다른 여러 자극 및 정보가 들어오면 그 자극들 간의 간섭이 발생될 수 있는데 두뇌는 그 간섭을 무시하고 자극을 병렬적으로 처리하여 필요한 자극에만 주의를 기울일 수 있다. 주의를 기울인 정보는 지각(perception)되고 반응선택과 결정단계로 이동된다. 그 후 반응실행계획 및 운동체계 조직과정을 거치게 된다. 지각, 선택, 실행계획을 포함하고 있는 3단계 과정에는 모두 주의력이 요구된다. Figure 1은 이러한 정보처리과정을 '인간정보처리모델'로 통합한 것이다(Wickens, Hollands, Banbury, & Parasuraman, 2015).

dCollection CAU

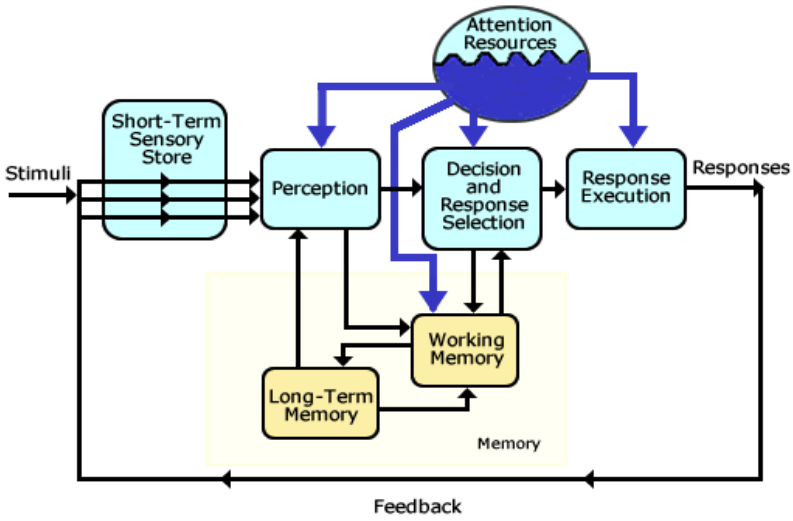


Figure 1. Human information processing model

이 모델에서 유의해야 할 사항은 단기기억 단계 이전에 작업기억(working memory)이 포함된다는 것이다. 동시에 단기기억과 작업기억은 더 능동적인 역할을 한다. 인간정보처리모델을 정리하면, 감각자극이 단기감각기억으로 변형되어 지각된다. 주의를 통해 선별되어 선택된 자극은 다시 작업기억으로 전송된다. 반복된 자극을 통한 작업기억은 장기기억으로 입력되기도 하고 이미 저장된 정보가 파악되는 경우 장기기억에서 인출하기도 한다. 이 같이 작업기억은 지각에 대한 반응과 정보가 저장되어 있는 장기기억과 상호작용한다는 것이다.

인간정보처리모델 상단에 주의자원이 물탱크의 형상을 하고 있는 것은 주의자원의 제한성을 상징하고 있는 것이다. 지각, 반응선택, 반응실행, 작업기억에 각각의 주의를 기울이는데 이는 용량에 제한이 있어 한쪽에서 많은 주의자원을 사용할 때 다른 한쪽에는 주의자원이 부족할 수 있다는 것을 상징적으로 설명하는 것이다.

많은 인지심리연구자들은 주의력의 제한극복을 위한 연구를 진행했다. 연구의 목적은 실질적인 학습의 성공을 위해 외적 주의산만요소(소음, 외부의

dCollection CAU

움직임 등)와 내적 주의산만요소(과제와 관련없는 생각이나 행동)를 차단하고 집중을 유지한 상태로 과제 요구에 주의를 기울이는 것이다. 연구자들은 주의집중 능력이 작업기억의 용량과 관련이 있으며 사용되는 작업기억의 용량은 개인차가 있다는 것을 확인하였다(Hall & Blasko, 2005). 성공적인 과제수행을 위한 효과적인 주의집중력 제어는 주의집중에 대한 연구에 있어 중요한 주제이다.

2) 타이밍과 주의집중 신경기전

브레인타이밍 신경망에서 소뇌와 더불어 두정엽(parietal lobe)과 전두엽(frontal lobe)의 연결을 바탕으로 한 신경망을 두정엽-전두엽 신경망(parietal-frontal brain network)이라 한다. 두정엽-전두엽 신경망을 자세히 살펴보면, 휴지상태신경망(DMN), 현저성신경망(SN), 중앙실행기능신경망(CEN)으로 세 가지 신경망의 구성을 확인할 수 있다(Figure 2).

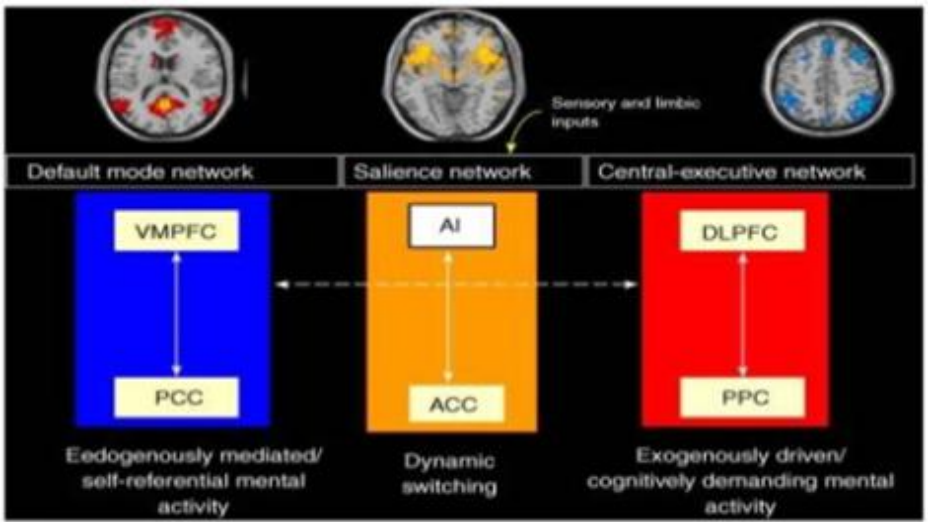


Figure 2. Large scale brain networks in cognition

dCollection CAU

휴지상태신경망(DMN)은 사람이 아무것도 하지 않는 상태에서 활성화되는 영역이다(Raichle et al., 2001). 일부 학자들은 “뇌가 깨어있는 휴식상태” 라고 부르기도 한다. 휴지상태신경망(DMN)은 복부중간전전두엽피질(Ventral Medial Prefrontal Cortex: VMPFC)과 후방대상피질(Posterior Cingulate Cortex: PCC), 내측전전두엽(Medial Prefrontal Cortex: MPFC)으로 구성된 신경망이다(Buckner, Andrews-Hanna, & Schacter, 2008; Fornito, Harrison, Zalesky, & Simons, 2012). 휴지상태신경망(DMN)의 기능은 창의적인 사고, 미래에 대한 예측과 계획의 역할을 한다(Raichle & Snyder, 2007). 휴지상태신경망(DMN)이 과도하게 활성화될 경우 ADHD나 정신분열 증세를 보일 수 있다는 사실은 적절한 휴지상태신경망(DMN) 활성화, 억제가 인지전략을 위한 중요한 기전이란 것을 시사한다.

현저성신경망(SN)은 앞뇌섬(Anterior insula: AI)과 전대상피질(Anterior Cingulate Cortex: ACC)로 구성된 신경망이다(Seeley et al., 2007). 현저성신경망(SN)은 외부의 정보와 내부의 정보를 탐지할 때 활성화되는 대규모신경망이다(Menon, 2011). 내, 외부의 자극과 정보를 지속적으로 탐색하여 가장 긴급하고 중대한 정보를 결정하여 이를 처리하기 위해 다른 뇌 영역에 신호를 보낸다.

중앙실행기능신경망(CEN)은 배외측전두엽피질(dorsal lateral prefrontal cortex: DLPFC)와 후방두정피질(Posterior parietal cortex: PPC)의 교신을 통해 고차원 인지활동과 주의집중 제어 상황에서 활성화된다(Bressler & Menon, 2010). 중앙실행기능신경망(CEN)의 기능은 작업기억 정보를 인출이나 문제해결 시 사고를 하고 주의를 통제하여 과제에 집중할 수 있도록 한다.

브레인타이밍 신경망에서 백질신경로를 통한 두정엽-전두엽 신경망의 역할을 정리하면 빠른 정보처리, 운동계획 및 순차적 운동행동에 영향을 미치며(Colom et al., 2009; Deary, 2012; Deary, Penke, & Johnson, 2010; Hunt, 2011), 일반지능기능(general intellectual functioning)에도 영향을

dCollection CAU

미친다는 것이다(Penke et al., 2012). 위 세 가지 신경망의 동기화가 밀리세컨(ms)단위로 활동하지 않으면 인지활동, 감각, 운동행동이 불가능하게 될 수 있다. 그리고 ADHD, 정신분열증, 자폐증, 파킨슨병이 나타날 수 있다(Bressler & Melon, 2010; Bush, 2010).

3) 주의집중과 뇌파

인간의 생체 시스템에서 신경으로 정보를 전달할 때는 전기적 신호를 사용하게 된다. 이 때 발생하는 전위(potential)는 근육, 심장, 두뇌 등에서 측정이 가능하다. 그 중 두뇌에서 발생하는 전기적 신호를 측정하는 방식을 뇌파(Electro Encephalo Graphy: EEG)측정이라고 한다(Niedermeyer & da Silva, 2005). 뇌파는 뉴런들이 활동할 때 발생되는 전기적인 신호들을 합한 전위변화를 시간에 따라 측정한다. 뇌파의 장점은 뇌 세포들의 활동을 높은 시간적 해상도로 측정할 수 있다는 것이다. 다시 말해 자극을 받거나 특정 행동, 사고 등이 뇌 안에서 일어나는 동시에 즉각적으로 측정이 가능하다. 따라서 뇌파검사를 통해 다양한 뇌 영역의 활성도 및 교신 흐름을 파악할 수도 있고, 뇌파의 형태를 분석하면 피검사자의 정서 및 신경생리학적 상태를 예측할 수도 있다. 때문에 뇌파검사는 운동 상황에서 스포츠 수행과 관련된 두뇌의 특성과 심리적 요인을 연구를 할 때 사용이 용이하다. 다만 미세한 신호를 증폭시켜 측정하는 방식이므로 외부의 전기적 환경자극이나 피검사자의 움직임 등이 측정 결과에 오차를 일으킬 수 있다는 것을 측정 시 주의하여야 한다(윤중수, 1999).

뇌파신호는 파형, 주파수, 진폭, 패턴, 분포 등으로 구성된다. 주파수는 1초간 나타나는 파장의 횟수이며 Hz단위를 사용한다. 이러한 주파수는 Delta파(0~4Hz), 세타파(4~8Hz), 알파파(8~13Hz), 베타파(13~30Hz), Gamma파(30~50Hz)로 구분한다.

dCollection CAU

베타파는 좀 더 상세히 구분할 수 있다. 낮은 베타파(13~16Hz)는 SMR파(sensorimotor rhythm)라고 불리기도 한다. 낮은 베타파는 주의집중과 적정각성을 유지하는 상태에서 나타나는 뇌파이다(Vachon-Presseau, Achim, & Benoit-Lajoie, 2009). 중간 베타파(16~20Hz)는 고도의 주의집중 상태를 유지할 때 나타나는 뇌파이며 긴장과 스트레스 상태에서도 나타날 수 있다. 신경심리학적 관점에서 세타파의 증가는 정신적 산만으로 해석될 수 있으며, SMR파와 중간 베타파의 증가는 주의집중력의 증가로 해석 가능하다.

실제 뇌파측정에서는 각 주파수가 혼재되어 나타난다. 따라서 파워스팩트럼 분석을 이용하여 각 주파수의 성분을 분류하고 그 크기를 분석한다. 여기서 얻어진 뇌파의 크기(power)를 이용하여 다양한 심리상태를 확인할 수 있다. 특히 세타파에 대한 SMR파와 중간 베타파의 합의 비율로 주의집중지수(RSMT)를 확인할 수 있다(Doppelmayr & Weber, 2011). 주의집중지수(RSMT)를 확인하는 공식은 '(SMRpower+M.βpower)/θpower'이다(McFarland & Wolpaw, 2005; Vachon-Presseau, Achim, & Benoit-Lajoie, 2009). 이 같은 공식은 정량적 뇌파 분석방법(QEEG)을 가능하게 하여 컴퓨터에서 명료한 수치로 변환되어 결과를 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서 의미하는 주의집중력은 세타파의 감소, SMR파와 중간 베타파의 증가가 나타날 경우 주의집중이 향상된 것으로 해석할 수 있다.

dCollection CAU

3. IM훈련 프로그램

1) IM훈련의 개념

IM훈련이란 외부에서 주어지는 리듬 단서와 신체 내부 리듬 간 동시적 작용을 통해 신체 내부의 타이밍 관련 신경학적 기능을 강화시키는 훈련이다. IM은 브레인타이밍 훈련을 위해 개발된 장비이다. 대부분의 연구에서는 장비명칭을 활용하여 'IM훈련'이라고 명명하였다. 국내의 연구에서는 IM을 직역하여 '상호작용식 메트로놈 훈련'으로 소개되었다. 또 국내 임상 및 작업치료 현장에서는 IM을 일종의 '감각운동통합훈련방법(sensory motor integration training)'으로 구분하여 사용 중이다. 최초로 스포츠분야에서 IM이 사용될 때는 '타이밍훈련(training in timing)'이라는 포괄적 용어가 사용되었고(Libkuman, Otani, & Steger, 2002), Sommer와 Rönnqvist(2009)는 IM을 스포츠에 도입하여 '메트로놈 동기화 훈련(synchronized metronome training)'으로 명명하여 사용하였다. 이 외에도 다양한 연구에서 IM을 활용한 훈련의 명칭은 다양하게 사용되어 왔다. Taub, McGrew, 그리고 Keith(2015)는 수학적 지능 연구에서 '내적 타이밍 훈련(interval timing training)', Beckelhimer, Dalton, Richter, Hermann, 그리고 Page(2011)는 뇌졸중 환자 연구에서 '컴퓨터 기반 리듬 타이밍 훈련(computer-based rhythm and timing training)', Leisman과 Melillo(2010)는 ADHD치료연구에서 '운동순서훈련(motor sequece training)'이라는 명칭으로 사용되었다.

IM의 작동원리는 컴퓨터 기반의 메트로놈이다. 훈련방법과 목적은 청각리듬정보와 운동기능을 동시적으로 수행하여 감각신경과 운동신경의 동기화(synchronization)를 목적으로 한다. 따라서 IM의 가장 큰 개념은 두뇌의 직접적인 변화를 기대한다는 점에서 '신경가소성 원리'를 포함하고 있다. '신경가소성 원리' 기반의 훈련프로그램에는 '감각동기화, 동시적 감각훈련,

dCollection CAU

감각-운동통합훈련' 등이 포함될 수 있다. 그 중 훈련방법으로 구분할 때 IM은 청각지각과 운동감각의 동기화를 위해 메트로놈 리듬과 운동타이밍을 활용하고 있다. 때문에 IM을 '메트로놈 훈련, 타이밍 훈련'으로 구분하는 것이 타당하다. 하지만 타이밍 훈련 중 받은 피드백을 통해 수정된 타이밍 동작은 두뇌시계(brain clock)의 개념을 가진 대뇌와 소뇌를 비롯한 신경계에 영향을 미친다는 점에서 '동시적 브레인타이밍 훈련(synchronized brain timing training)'이 가장 적절한 개념이자 명칭이 될 것이다.

감각-운동통합훈련이란, 다중 자극에 대한 개별적인 감각을 하나의 세트로 인식하여 반응하는 신경시스템을 말한다(Stein & Meredith, 1993). 다양한 감각의 통합과 상호작용의 중요성은 스포츠 상황에서 더욱 강조된다. 각각의 감각은 상호작용을 통해 새롭고 특화된 기능을 조직하여 성공적인 수행능력을 만들어 낼 수도 있다. 예를 들어 청각과 촉각의 상호작용을 통한 경고신호 강화프로그램은 실제 항공훈련시나리오에서 운동기능향상을 나타냈다(Ngo, Pierce, & Spence, 2012). 리드미컬한 손가락태핑 연구에서는 단일감각 형태의 피드백보다 다중감각 형태의 피드백을 제공할 때 낮은 오차율을 보였다(Wing, Doumas, & Welchman, 2010). 스포츠에서는 촉각, 청각 그리고 시각의 감각적 통합 피드백의 영향으로 야구 타격 수행이 향상된 결과가 보고되었다(Gray, 2009). Jensen(2006)은 복합 감각정보의 피드백 훈련이 운동 수행 능력 향상에 효과적인 이유는, 다중감각 통합을 위한 선별적 주의가 향상되면서 나타나는 선수의 주의력 향상이라고 주장하였다.

이와 같은 배경으로 감각타이밍 훈련이 운동타이밍 향상에 미치는 효과를 알아본 연구가 등장하였다(Meegan, Aslin, & Jacobs, 2000). 이 연구에서는 피험자들이 청각 피드백을 이용하여 엄지손가락으로 버튼을 일정하게 또는 길고 짧게 누르는 훈련을 시행하였다. 이 훈련은 큰 동작의 운동이 포함되지 않았으나 훈련 후 운동능력의 향상이 확인되었다.

dCollection CAU

2) IM훈련의 개요

IM훈련의 참여자는 메트로놈 리듬에 맞춰 일정한 운동행동을 시행한다. 이 때 참여자는 리듬-동작 동시성 오차에 대해 시청각 방식의 피드백을 받게 된다. 오차정보는 1/1000초 단위로 매우 세밀한 정보를 제공한다. 참여자는 청각을 활용한 감각신경 활성화와 운동신경 유발의 상호작용을 통해 운동신경과 감각신경 동기화 훈련을 할 수 있다. 결국 IM훈련을 통해 생체 내 시간처리를 기반으로 나타나는 운동계획, 순차적 처리와 같은 정보처리 과정의 효율성을 증가시킬 수 있다(Koomar, Burpee, DeJean, Frick, Kawar, & Fischer, 2001).

3) IM훈련 원리

McGrew(2013)는 'IM훈련효과의 3단계 가설'을 설명하였다. IM훈련을 실시하였을 때 신경계의 첫 번째 효과는 주요두뇌영역-일반신경인지기전(crucial brain-based domain-general neurocognitive mechanism)의 뇌신경 진동(neural oscillations)속도가 향상되는 것이다(Figure 3).

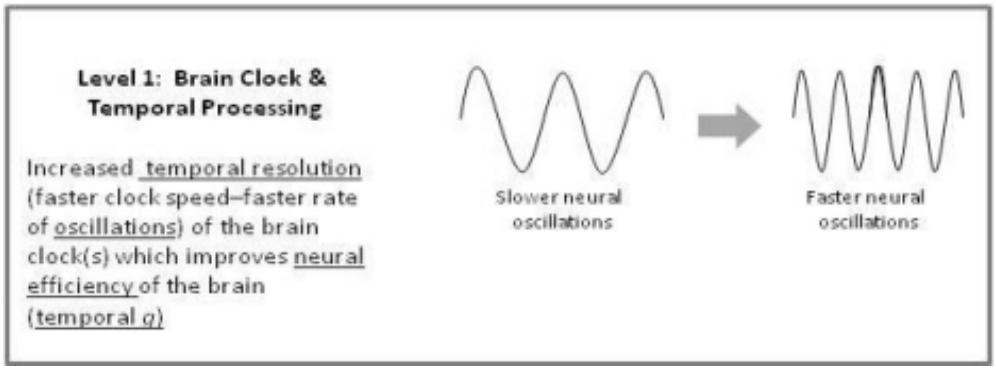


Figure 3. The brain clock and temporal processing(McGrew, 2013)

dCollection CAU

이는 개인의 생체 내부의 시간에 관련된 부분의 시간처리(Temporal Processing)의 해상도와 정보처리(information processing)의 효율성이 향상되는 것이며 두뇌시계와 관련된 뇌 영역과 시냅스작용의 신경효율성을 증가시켜 타이밍 처리를 효과적으로 할 수 있도록 하는 것이다.

다음 2단계 효과는 1단계 효과에서 거론한 뇌 영역 간의 통신을 조금 더 자세히 설명한 것이다. 즉, IM훈련을 통해 변화되는 뇌 신경망을 확인하고 뇌 영역간의 연결성(brain connectivity), 교신(communication), 동기화(synchronization)의 효율성을 확인한 것이다(Figure 4).

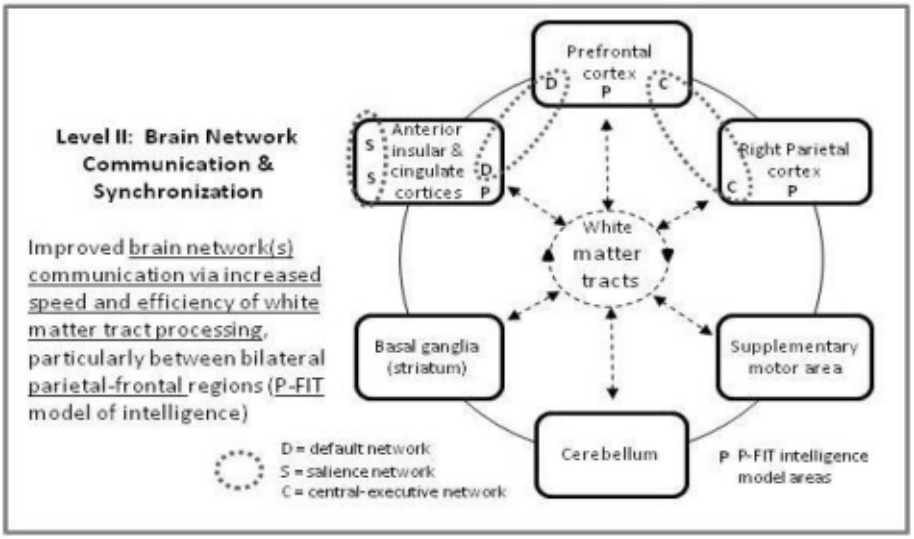


Figure 4. Brain network communication and synchronization(McGrew, 2013)

뇌 신경망은 백질신경로의 교신을 기반으로 한다. IM과 관련된 두뇌영역은 전전두엽, 두정엽, 기저핵, 앞뇌섬, 전방대상피질, 보완운동영역, 소뇌를 포함하고 있다. 다양한 두뇌영역은 각자의 교신을 통해 인간의 다양한 사고와 행동을 만든다(Bressler & Menon, 2010). 특히 브레인타이밍과 관련된 백질신경로를 통한 신경망은 운동타이밍 뿐 아니라 주의집중, 기억, 의사결정 등 인지적 요소와 빠른 정보처리, 운동계획 및 순차적 운동행동(Colom

dCollection CAU

et al., 2009; Deary, 2012; Deary, Penke & Johnson, 2010; Hunt, 2011), 지능(Penke et al., 2012)에도 관련 깊다.

마지막 세 번째 단계의 효과는 주의집중제어시스템(Attentional Control System: ACS) 기능의 향상이다(Figure 5).

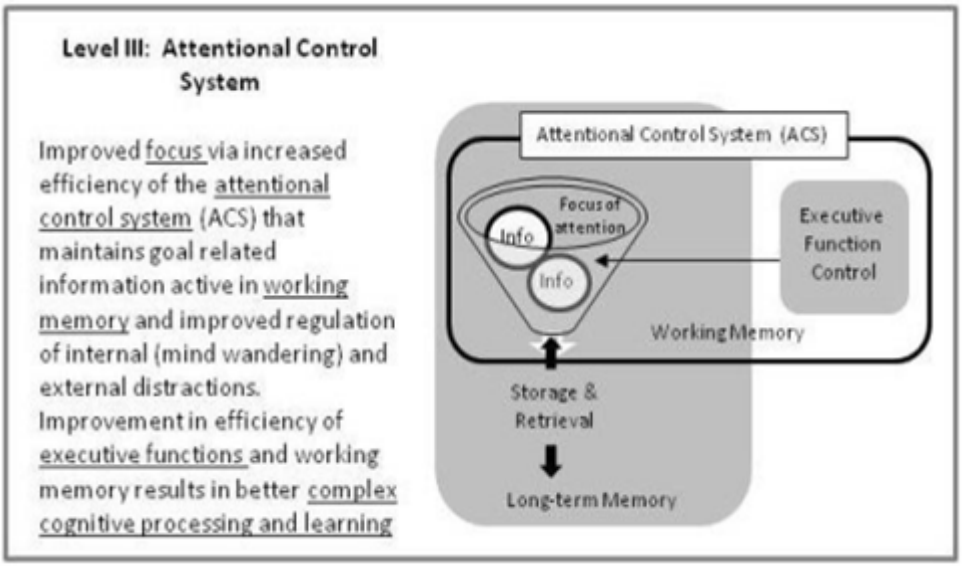


Figure 5. Attentional control system(McGrew, 2013)

주의집중제어시스템(ACS)는 정신적 산만과 주의력 제어 및 실행기능을 포함하여 작업기억 형태로 나타나게 된다(Chuderski & Necka, 2012). IM 훈련효과가설 2단계에서 설명한 바와 같이 현저성신경망(SN)은 내, 외부의 산만요소에 대한 통제력을 높이고, 중앙실행기능신경망(CEN)은 고도의 사고와 주의집중을 가능케 한다. 또한 작업기억의 출력은 휴지상태신경망(DMN)의 영향을 받게 되는 것이다.

IM훈련의 원리를 종합하여 보면, IM에서 사용되는 밀리세컨의 타이밍 오차 피드백은 운동신경과 감각신경의 빠른 상호작용을 일으킨다. 이 때 신경진동 속도의 증가가 일어나게 되며 이는 브레인타이밍 신경망 특히 두정엽

dCollection CAU

-전두엽 신경망의 교신을 빠르게 한다. 결과적으로 주의산만 요소를 통제하고 주의집중력을 증가시켜 작업기억 형태로 출력되어 인지 및 운동기능의 향상을 나타낼 수 있는 것이다. 이를 토대로 집중을 요구하는 반복된 동작 훈련인 IM훈련을 주의력결핍과잉행동장애 학생에게 적용한 결과 대상자들의 타이밍 능력, 수행능력, 집중력 등의 인지능력이 향상되었고 그 이유는 '신경가소성의 원리' 때문이라고 밝혀냈다(Shaffer et al., 2001).

4) 신경가소성

인간의 두뇌는 환경적인 요인이나 반복된 자극, 개인의 행동 등을 통해 유연하게 변화될 수 있다. 이러한 두뇌의 변화를 신경가소성(neuroplasticity)이라고 한다. 신경가소성이란 반복된 경험을 통해 신경세포들 간의 연결을 형성하여 정보전달이 가능한 회로를 만들어 뇌의 기능적, 해부학적 구조가 변화하는 것이다. 신경가소성은 성장기에 왕성하게 나타나며 성인기에도 활발하지는 않지만 신경가소성이 관찰되고 있다(Azari & Seitz, 2000). 또한 최근 뇌지도화(brain mapping), 활성화 등을 확인하는 기능성자기공명영상(fMRI), 양전자방출단층촬영(PET), 뇌파(EEG) 등과 같은 측정도구의 발달로 신경가소성을 확인할 수 있는 뉴런 간의 연결 범위와 정보전달 속도의 변화, 대뇌 피질의 기능적, 구조적 변화 등을 확인할 수 있게 되었다(Schaechter, 2004).

신경가소성의 변화는 수상돌기의 발달에서 확인할 수 있다. 더 많은 장애물과 큰 공간에서 많은 개체와 사는 쥐의 뇌에서 그렇지 않은 쥐보다 더 많은 수상돌기와 두꺼운 피질이 관찰되었다(Rosenzweig & Bennett 1996). 이것은 더 많은 경험과 운동이 축삭돌기와 수상돌기의 발달 및 증가를 촉진시켰기 때문이다(Coss, Brandon, & Globus 1980). 사람의 경우도 마찬가지로 고학력자에게서 더 넓고 긴 수상돌기가 확인되었다(Jacobs & Scheibel 1993). 또 신경가소성은 대뇌 피질의 감각체계의 변화에서 확인

dCollection CAU

된다. 과제에 의도적으로 주의를 기울일 때 과제에 관련된 특정 피질에 도파민이 작용하여 그 과제에 대한 자극과 관련된 표상이 확대될 수 있다(Bao, Chan, & Merzenich, 2001). 예를 들면 눈이 보이지 않는 사람이 문자를 이해할 때는 점자를 사용한다. 점자를 이해하는 과정에서 눈이 보이지 않는 사람은 손끝이 예민하게 반응한다. 이러한 현상에서 눈이 보이는 사람보다 손끝을 담당하는 뇌 영역의 활성도가 높아진 것이다. 이를 통해서 대뇌피질의 신경가소성을 확인할 수 있다. 운동 피질의 신경가소성은 반복된 연습과 학습을 통해 나타난다(Li, Zhong, Yang, Sn, Zhong, Yin, Cheng, Yan, & Li, 2005). 반복된 운동이라면 약한 강도의 운동으로도 신경전달물질이 방출되어 뉴런을 발달시킬 수 있다(Trejo, Carro, & Torres-Aleman, 2001). 집중을 유지한 상태의 반복적 움직임 훈련은 신경가소성에 많은 영향을 준다는 것을 입증하는 연구들이 발표되고 있다(Classen, Liepert, Wise, Hallett, & Cohen, 1998; Karni et al., 1998; Plautz, Milliken, & Nudo, 2000). 마지막으로 신경가소성의 증거로 뉴런의 생성을 들 수 있다. 인간의 뉴런은 새롭게 생성될 수 있다는 점에 대해서는 아직 명확하게 검증되지 않았으나 일부 연구에서 조류의 두뇌를 조사한 결과 해마에서 뉴런이 새롭게 형성되는 것이 확인되었다(Nottebohm, 2002; Smulders, Shiflett, Sperling, & DeVoogd, 2000). 이와 같은 연구는 인간의 새로운 뉴런 생성의 가능성을 보여주고 있다.

Hebb(2005)은 인간행동의 구조를 연구하며 신경가소성의 메카니즘을 다음과 같이 정리하였다. 뉴런 간 신호가 전달될 때 신호의 강도가 강하거나 반복되면 시냅스에 장기적인 변화가 나타난다. 이런 변화가 수상돌기의 신호에 대한 반응성을 향상시켜 뉴런 간 정보전달의 효율성을 향상시킨다. 구체적으로 살펴보면, 구심성 신경에 짧고 강한 자극이 일어날 경우 흥분성 시냅스 후 전위(Excitatory Postsynaptic Potential, EPSP)가 일어나는 것이다. 이를 통해 절전뉴런(preganglionic neuron)과 절후뉴런(postganglionic neuron)간의 신호를 전달하는 능력이 증가되며 지속적인

dCollection CAU

자극을 주면 이 자극에 대한 반응성이 향상된다. 이 같이 신경세포의 신호 전달이 향상된 상태가 지속되는 것을 장기상승작용(Long-Term Potentiation: LTP)라고 한다. 이와 반대로 장기하강작용(Long-Term Depression: LTD)은 시냅스의 활성 효율이 지속적으로 감소하는 것이다. 이와 같은 감소는 주로 해마와 소뇌에서 확인되었다. 장기상승작용과 장기하강작용은 신경가소성을 대표하는 현상이다. 또 신경가소성은 새로운 자극에 대한 반응이 생성되게 하고 오래된 기억을 없애기 때문에 운동학습에 직접적인 영향을 주는 요인이라 할 수 있다.

기능성자기공명영상(fMRI)을 이용한 뇌지도화를 통해 반복적인 운동으로 피질의 신경망 재조직화를 확인한 연구가 이와 같은 기전을 뒷받침하고 있다(Karni et al., 1998; Petersen, Van Mier, Fiez, & Raichle, 1998; Plautz, Milliken, & Nudo, 2000; Schweizer, Braun, Fromm, Wilms, & Birbaumer, 2001; Ungerleider, Doyon, & Karni, 2002). 이와 같은 fMRI를 사용한 연구는 뇌지도화 및 뇌 영역의 활성도를 확인하기에 적합하며 시냅스의 활동변화를 직접 높은 시간해상도로 확인하기 위해서는 뇌파 측정방법이 효과적이다(Gevins, Le, Martin, Brickett, Desmond, & Reutter, 1994; Thatcher, Toro, Pflieger, & Hallet, 1994).

신경가소성의 선행연구는 대부분의 임상연구에서 뇌 손상 환자의 신경계의 변화를 확인하였다. 따라서 일반인의 신경계 강화가 아닌 손상된 신경계의 재활에 초점을 맞추고 있다(Burgener, Buettner, Beattie, & Rose, 2009; Feydy, Carlier, Roby-Brami, Bussel, Cazalis, Pierot, & Maier, 2002; Galvan & Bredesen, 2007; Rijntjes & Weiller, 2002). 물론 뇌 손상환자의 재활도 중요하지만 신경계가 인간의 행동과 사고를 통제하고 있다는 사실을 생각한다면 이상이 없는 상태에서도 신경계의 강화 및 발전은 신경계 질환예방과 인지능력 및 운동능력 향상에 중요한 시사점이 될 것이다.

dCollection CAU

5) IM훈련을 적용한 선행연구

Koomar, Bupree, DeJean, Frick, 그리고 Fischer(2001)는 IM훈련을 통해 개선된 타이밍과 리듬이 두뇌의 운동계획 및 실행능력에 미치는 긍정적인 효과를 확인하였다. 이들은 IM훈련이 타이밍과 리듬에 관련된 다양한 수행을 향상시킬 수 있는 방법이며 기존의 치료 방법보다 편리하여 넓은 의미의 임상분야에서 유용하게 사용될 것이라 결론내렸다. Alpiner(2004)는 기능성자기공명영상(fMRI)을 이용하여 IM훈련을 받은 사람들은 뇌 영역 간 교신(communication)이 효율적으로 이뤄진다는 것을 확인하였다.

IM훈련의 효과를 확인한 최근 연구를 살펴보면, IM훈련을 통한 주의집중력 향상 연구(Etra, 2006), 주의력과 운동협응력 향상 연구(Bartscherer & Dole, 2005), 외상성 뇌손상 재활(Nelson et al., 2013), 인지 및 지각능력 향상 연구(Kuhlman & Schweinhart, 1999; Ritter, Colson, & Park, 2013; Taub, McGrew, & Keith, 2007), 뇌졸중 치료(Beckelhimer, Dalton, Richter, Hermann, & Page, 2011), ADHD치료(Leisman & Melillo, 2010; Shaffer et al., 2001), 언어학습장애 치료(Sabado & Fuller, 2008), 운동수행에 관련된 연구(Libkuman, Otani, & Steger, 2002; Sommer & Rönnqvist, 2009; Sommer, Häger, & Rönnqvist, 2014) 등이 보고되었다.

특히 스포츠분야에 IM훈련을 처음 적용한 연구는 Libkuman, Otani, 그리고 Steger(2002)의 연구이다. 이들은 IM훈련을 받은 피험자 40명의 골프샷 정확성이 향상된 것을 확인하였다. 피험자들은 골프시뮬레이터 장치에서 9번 아이언, 7번 아이언, 5번 아이언, 드라이버를 사용하여 스윙한 결과, 각각 14%, 24%, 28%, 15%의 정확도가 향상되었다. 다음 Sommer와 Rönnqvist(2009)는 Libkuman, Otani, 그리고 Steger(2002)의 연구를 보완하여 26명의 골퍼를 대상으로 4주간의 IM훈련을 실시한 결과, 골퍼들의 골프샷의 정확성이 향상된 것을 확인하였고 IM훈련을 받지 않고 골프스윙

dCollection CAU

만 연습한 통제집단과의 비교에서 유의한 타이밍 능력의 향상을 나타냈다고 밝혔다. Sommer, Häger, 그리고 Rönnqvist(2014)는 IM훈련을 통해 골프스윙의 역학적 변화를 확인하였다. 이들은 골프스윙은 다양한 신체분절의 협응을 만들기 위해 뇌 기반의 운동조절 전략과 타이밍에 IM훈련이 긍정적인 효과를 미쳤다고 보고하였다. 이와 같이 선행연구 모두 IM훈련의 긍정적 효과를 확인하였다.

dCollection CAU

III. 연구방법

1. 참여자

본 연구의 참여자는 경기도 R골프장에서 훈련 중인 대한체육회 및 경기가맹단체 회원자격 보유자로 현재 활동 중인 전문골프선수이며, 이전에 감각통합훈련, IM, 신경학적 치료 등 이와 유사한 경험이 없는 자로 편의추출되었다. 모집된 선수는 총 34명으로 각각 IM집단 18명, 통제집단 16명으로 무선할당(random assignment)하였다. Table 1은 두 집단의 일반적인 특성과 사전검사의 평균, 표준편차를 제시하는 동시에 종속변인에 해당하는 운동타이밍 능력(Bilateral timing, Adjusted timing, Unadjusted timing), 주의집중지수(RSMT), 각 뇌파(세타파, SMR파, 베타파), 퍼팅 기술수행능력(Putting tendency, Putting timing, Putting consistency, Putting skills overall)과 퍼팅 현장수행능력(Putting field performance)에 대한 동질성 검사 결과를 보여주고 있다. 동질성 검사 결과, 두 집단 간 차이가 통계적으로 유의하지 않아 두 집단 간 동질성이 확인되었다($p>.05$).

dCollection CAU

Table 1. Result of t-test for equality of means

	IM Group	Con Group	t	*p*
Age(years)	19.77±2.21	18.87±2.27	1.172	.250
Practice time(hours)	8.16±1.04	7.62±0.88	1.621	.936
Career(years)	6.00±3.19	5.81±2.63	.185	.854
Average score	74.83±3.16	75.62±3.09	-.735	.468
Bilateral	105.42±52.61	111.66±68.79	-.299	.767
Adjusted	72.48±24.33	64.19±27.85	.927	.361
Unadjusted	79.40±26.83	73.01±31.82	.635	.530
Fp1 Theta	28.80±2.13	28.20±1.38	.950	.349
Fp2 Theta	28.72±2.03	28.04±1.64	1.059	.298
Fp1 SMR	6.77±1.20	6.50±1.10	.689	.496
Fp2 SMR	6.63±1.37	6.41±1.31	.482	.633
Fp1 Mid-Beta	4.80±1.08	4.53±0.83	.817	.420
Fp2 Mid-Beta	4.49±1.12	4.49±1.12	.495	.624
Fp1 High-Beta	2.26±.59	2.21±.72	.204	.839
Fp2 High-Beta	2.13±.63	2.23±.90	-.369	.715
RSMT	.40±.09	.39±.08	.292	.772
Putting tendency	72.96±5.83	75.05±5.99	-1.032	.310
Putting timing	68.47±6.15	70.23±9.15	-.667	.510
Putting consistency	70.85±5.00	72.01±8.17	-.493	.626
Putting skills overall	70.78±2.80	72.34±5.62	-1.000	.328
Putting field performance test	83.78±2.88	82.63±3.58	1.040	.306

Note. p>.05, IM-Interactive metronome training group, CON-Control group.

dCollection CAU

2. 측정도구 및 방법

1) 운동 타이밍 측정

본 연구에서 타이밍 능력 측정 및 훈련도구로 사용된 IM은 중추신경계의 효율성과 활성도를 높이기 위한 장비이다(Greenspan, 1998). IM은 PC기반으로 작동한다. IM의 장비 구성은 본체에 해당하는 MCU, 청각정보를 받을 수 있는 헤드폰, 무선 버튼트리거(button trigger)와 무선 탭매트(tap mat)로 구성된다(Figure 6).

Figure 6. Component of Interactive metronome

버튼트리거는 기본적으로 손에 착용하여 치는 동작을 할 때 타이밍 정보를 추적하는 장치이지만 목적에 따라 손이 아닌 곳에도 장착할 수 있다. 탭매트의 용도는 버튼트리거와 같지만 활용범위가 더 넓고 다양하다. 예를 들어 트리거 위에서 점프동작을 하거나 발을 구를 수 있고 책상 위에 올려둔 상태에서 손바닥으로 칠 수도 있다.

dCollection CAU

타이밍 능력 측정은 IM의 전체형 검사(Long form assessment: LFA)로 실시하였다. 전체형 검사(LFA)는 총 14가지 동작검사로 구성되어 있으며 약 25분이 소요된다. Table 2는 전체형 검사 항목을 요약하여 보여주고 있다.

Table 2. Task of long form assessment

LFA Task	
1.Both Hands(양손)	8.Right Heel(오른발뒤꿈치)
2.Right Hand(오른손)	9.Left Heel(왼발뒤꿈치)
3.Left Hand(왼손)	10.Right Hand/ Left Toe(오른손/왼발끝)
4.Both Toes(양발끝)	11.Left Hand/ Right Toe(왼손/오른발끝)
5.Right Toe(오른발끝)	12.Balance Right Foot/ Tap Left Toe(오른발균형)
6.Left Toe(왼발끝)	13.Balance Left Foot/ Tap Right Toe(왼발균형)
7.Both Heels(양발뒤꿈치)	14.#1(Both Hands) with Guide sounds

14가지 검사 중 '양손과제(both hands)'와 '가이드사운드와 함께 양손과제(both hands with guide sounds)의 메트로놈 속도는 54bpm으로 설정하며 1분간 54회 반복한다. 그 외의 검사는 54bpm의 메트로놈 속도의 리듬을 듣고 0.6분간 일정한 동작을 30회 반복한다. 하위검사의 자세한 동작요령은 다음과 같다.

① 양손과제(both hands)

양손과제에서 반응측정을 위한 버튼트리거(button trigger)를 오른손 손바닥에 착용한다. 동작요령은 양손을 가슴 앞에서 크게 원을 그리며 박수치는 동작이다.

② 오른손과제(right hand)

오른손과제의 동작요령은 오른손바닥에 버튼트리거(button trigger)를 착

dCollection CAU

용한 상태로 원을 그리듯 손을 움직여 우측 골반을 치는 동작이다.

③ 왼손과제(left hand)

왼손과제의 동작요령은 왼손바닥에 버튼트리거(button trigger)를 착용한 상태로 원을 그리듯 손을 움직여 좌측 골반을 치는 동작이다.

④ 양발가락과제(both toes)

양발가락과제의 동작요령은 신발은 벗은 상태로 발가락을 이용하여 지면에 설치된 무선 탭매트(tap mat)를 오른발과 왼발을 교차하여 한 번씩 짧게 밟는다.

⑤ 오른발가락과제(right toe)

오른발가락과제의 동작요령은 우측 뒤꿈치를 지면에 대고 메트로놈에 맞춰 우측 발가락으로 무선 탭매트(tap mat)를 짧게 밟는다.

⑥ 왼쪽발가락과제(left toe)

왼쪽발가락과제는 동작요령은 좌측 뒤꿈치를 지면에 대고 메트로놈에 맞춰 좌측 발가락으로 무선 탭매트(tap mat)를 짧게 밟는다.

⑦ 양발뒤꿈치과제(both heels)

양발뒤꿈치과제의 동작요령은 무선 탭매트(tap mat)를 몸 후방에 설치하고 양발을 교차하여 각 뒤꿈치로 밟는다.

⑧ 오른발뒤꿈치과제(right heel)

오른발가락을 지면에 댄 상태로 오른발뒤꿈치를 사용하여 탭매트(tap mat)를 메트로놈 소리에 맞춰 밟는다.

dCollection CAU

⑨ 왼발뒤꿈치(left heel)

왼발가락을 지면에 댄 상태로 왼발뒤꿈치를 사용하여 탭매트(tap mat)를 메트로놈 소리에 맞춰 밟는다.

⑩ 오른손과제(right hand)/왼쪽발가락과제(left toe)

오른손과제(right hand)와 왼쪽발가락과제(left toe)를 혼합하여 각각 한 번씩 교차하여 실시하는 것이다. 이 검사에서 중요한 요령은 오른손의 움직임이 멈추지 않는 상태로 느리게 유지되어야 한다.

⑪ 왼손과제(left hand)/오른발가락과제(right toe)

오른손과제(right hand)/왼쪽발가락과제(left toe)와 동일한 방법으로 양측 손발을 바꾸어 실시한다.

⑫ 오른발균형(balance right foot)/왼발가락 밟기(tap left toe)

오른발 하나로만 서 있는 상태로 균형을 잡으며 왼발가락으로 탭매트(tap mat)를 밟는다.

⑬ 왼발균형(balance left foot)/오른발가락 밟기(tap right toe)

왼발 하나로만 서 있는 상태로 균형을 잡으며 오른쪽발가락으로 탭매트(tap mat)를 밟는다.

⑭ 가이드사운드와 함께 양손과제(both hands with guide sounds)

처음에 실시된 '①양손과제'와 방법은 동일하나 헤드셋을 통해 피검자가 반응한 타이밍에 대한 청각피드백을 제공한다. 이 피드백은 기준음(metronome sounds)보다 빠르게 반응하면 왼쪽에서 "뚜~" 또는 "벅~"하는 소리가 나타나게 되며 느리게 반응하면 오른쪽에서 소리가 나타난다. 16ms부터 100ms이내의 오차에서는 "벅~", 100ms이상의 오차에서는

dCollection CAU

“뚜~” 소리가 나타난다.

전체형 검사(LFA)를 통해 얻어진 양측성 타이밍(Bilateral)검사 결과는 오른손과 왼발, 왼손과 오른발과 같이 상반된 상체, 하체, 좌우사지의 협응동작의 타이밍오차를 보여준다. 조정성 타이밍(Adjusted)검사는 단일 상체와 하체의 사지 사용으로 보다 안정된 사지의 타이밍 능력을 평가할 수 있다. 마지막으로 비조정성 타이밍(Unadjusted)은 모든 신체의 양측성 타이밍(Bilateral)과 조정성 타이밍(Adjusted) 검사결과를 포함한 타이밍 오차의 결과이다.

2) 뇌파측정(EEG)을 통한 주의집중지수(RSMT)

골프선수의 뇌파측정을 위해 2채널 헤드밴드 형태의 뇌파측정 도구인 뉴로하모니(Braintech, Korea)를 부착하여 Figure 7과 같이 퍼팅용 매트위에서 120초간 퍼팅과제를 수행하였다. 선수마다 1회 퍼팅에 소요되는 시간은 달랐으며 평균 15회 퍼팅을 하였다.

Figure 7. EEG test with putting performance

dCollection CAU

뉴로하모니의 측정전극은 전전두엽(Prefrontal Lobe)의 좌측(Fp1)과 우측(Fp2)에 부착된다. Ground전극은 전전두엽의 정중앙(Fpz)에 부착되며, 기준전극(reference electrode)은 귓불에 집게형태로 부착된다. 전극의 재질은 금도금 건식전극으로 습식전극에 비해 피검자에게 이질감과 불쾌감을 주지 않는 상태로 전두엽의 뇌파 측정이 가능하여 주의집중, 의사결정 등의 고차원 인지과정을 관찰하는데 용이하다. 또한 뇌파의 1차 분석에 사용되는 전자 기판은 헤드밴드에 내장되어 전극케이블이 움직이면서 발생하는 잡파를 최대한 제어할 수 있기 때문에 스포츠 연구에서 운동수행 중 뇌파측정에 용이하다.

뇌파측정 샘플링은 512Hz이며, 주파수는 1Hz~45Hz까지 측정된다. 정량적 분석방법(Quantitative Electroencephalogam)을 통해 측정된 원시뇌파를 고속퓨리에방식(FFT) 파워스펙트럼을 통해 확인할 수 있다(Teplan, Krakovská, & Štolc, 2011). 파워스펙트럼은 밴드색상별, 전압별로 3차원으로 표현된다. 또 뇌파의 각 주파수의 절대 파워값과 상대 파워값은 수치와 더불어 막대그래프와 파이그래프로 나타난다. 본 기기의 신뢰도를 확인하기 위하여 뇌파 측정 장비로 높은 인지도를 가진 Grass Neurodata Amplifier System(USA)과 뇌파 결과를 비교한 결과 상관계수가 .916($p<.001$)로 나타났다(김용진 등, 2000).

뇌파측정기를 통해 분석된 각 뇌파의 상대 파워값(%)을 수치화하여 주의집중지수를 확인할 수 있다. SMR파(12Hz~15Hz)와 중간 베타파(15Hz~20Hz) 그리고 세타파(4Hz~7Hz)를 이용하여 주의집중지수(RSMT)를 확인할 수 있는데(Doppelmayr & Weber, 2011), 계산공식은 '(SMRpower+$M.\beta$power)/θpower'이다(Lubar et al., 1995; McFarland & Wolpaw, 2005; Vachon-Presseau, Achim, & Benoit-Lajoie, 2009).

dCollection CAU

3) 퍼팅수행능력

퍼팅수행능력은 두 가지 방법을 사용하여 측정되었다. 첫째, 기술수행능력 검사에서는 신체와 퍼터 헤드의 움직임을 측정하여 28가지의 수행변인의 특성을 종합하여 퍼팅성향, 퍼팅타이밍, 퍼팅일관성, 퍼팅기술점수를 확인하였다. 둘째, 실제 골프장 퍼팅그린에서 퍼팅을 실시해 1m 간격으로 1m부터 5m까지의 거리에서 각각 10회의 퍼팅으로 총 50회 퍼팅을 성공할 때까지 시행하여 실제 현장의 퍼팅능력을 측정할 수 있는 현장수행능력검사가 실시되었다.

(1) 퍼팅 기술수행능력 검사

퍼팅 기술수행능력(Putting skills performance) 검사에서 사용된 SAM PUTTLAB ver.5.1(Science & Motion, Germany, 2003)은 퍼팅 기술수행능력을 측정하기 위해 개발된 골프퍼팅분석시스템이다(Figure 8). 2003년 개발되어 2004년 유럽 PGA투어에서 활용되었다. 2010년에는 99명의 미국 PGA소속 프로골퍼들을 대상으로 기초자료를 만들었으며, 이들의 데이터를 토대로 골퍼의 퍼팅수행능력을 평가할 수 있다(Marquardt, 2007).

Figure 8. SAM PUTTLAB ver.5.1

dCollection CAU

SAM PUTTLAB ver.5.1은 퍼팅 시 퍼터의 움직임을 분석할 수 있는 초음파장치이다. 퍼팅과정에서 퍼터의 움직임을 확인하기 위하여 초당 210번(210Hz)의 초음파를 발생시켜 정밀한 데이터를 제공한다(Toner & Moran, 2011). 초음파발생기와 수신기 간 1.5m거리에서 오차율은 0.1mm, 0.1도로 나타났고, 방향의 일관성과 페이스각도의 표준편차를 조사한 결과 각각 0.098mm와 0.108mm로 확인되었다(Karlsen, Smith, & Nilsson, 2008; Marquardt, 2007). 따라서 SAM PUTTLAB ver.5.1은 연구의 측정도구로 사용 가능한 심층적 자료제공이 가능하다(Toner & Moran, 2011). 퍼팅 기술수행능력 검사의 기준 값은 미국PGA 99명 선수의 데이터를 중심으로 나타난 평균과 표준편차로 설정하였다(Table 3).

Table 3. Putting statistics for a sample of 99 PGA tour players(Marquardt, 2007)

Parameter	M	SD	Consistency
Face Angle at Address	0.35°Right	1.56°	0.67°
Face Angle at Impact	0.30°Right	0.59°	0.70°
Putter Path Direction at Impact	0.80°Left	2.24°	0.83°
Face on Path at Impact	1.10°Open	2.76°	0.70°
Backswing Length (BSL)	241mm	38mm	10mm
Path Symmetry (BSL/FSL)	0.36	0.05	0.02
Horizontal Impact Spot	1.56mmToe	3.5mm	2.1mm
Vertical Impact Spot	4.9 mmUp	2.2mm	1.4mm
Face Rotation in Impact Zone	3.2°	1.0°	0.34°
Dynamic Shaft Angle	0.0°	1.2°	0.49°
Vertical Angle of Attack (Rise)	2.8°Up	1.8°	0.60°
Backswing Time (BST)	670ms	90ms	30ms
Time to Impact (TI)	317ms	35ms	11ms
Forward Swing Time (FST)	820ms	100ms	45ms
Backswing Rhythm (BST/TI)	2.1	0.29	0.11
Impact Timing (TI/FST)	0.39	0.04	0.02
Impact Speed	1510mm/s	119mm/s	45mm/s

dCollection CAU

최종적으로 나타나는 퍼팅 기술수행능력 검사의 결과는 퍼팅성향(putting tendency), 퍼팅타이밍(putting timing), 퍼팅일관성(putting consistency), 퍼팅기술점수(Putting skills overall)로 총 4가지 점수가 제공된다. 먼저 퍼팅성향은 조준(aim), 퍼터헤드각도(face angle), 퍼터헤드움직임(path), 공이 맞는 지점(spot), 퍼터헤드회전(rotation)을 포함한 점수이다. 다음 퍼팅타이밍은 스윙지속시간(swing times), 임팩트타이밍(impact timing), 백스윙리듬(rhythm)을 포함하고 있다. 그리고 퍼팅일관성은 28가지 측정변인의 반복된 일치를 확인한다. 마지막으로 퍼팅기술점수는 퍼팅성향 25%, 퍼팅타이밍 25%, 퍼팅일관성 50%를 각각 더한 값으로 제공된다(Marquardt, 2007).

본 연구에서 퍼팅 기술수행능력 검사에 앞서 퍼터 샤프트에 초음파송신기를 부탁하게 된다. 부착 위치는 퍼터 헤드에서 20cm상단에 퍼터 페이스와 직각이 될 수 있도록 부착하고 참여자가 퍼팅 준비자세가 되었을 때 퍼터헤드와 타겟(홀)의 직각, 퍼터 헤드와 초음파 송신기와의 직각에 맞춰 영점작업을 시행한다. 초음파 송신기와 수신기의 거리는 1.5m로 유지하였다. 준비가 끝나면 실험참여자는 5m지점의 플라스틱 홀컵을 향하여 10번의 퍼팅을 수행하였다. 각 퍼팅수행 직후 후방으로 2m이상 물러선 뒤 다시 스탠스를 취하도록 하여 퍼팅일관성 검사의 신뢰도를 높였다.

(2) 퍼팅 현장수행능력 검사

퍼팅 현장수행능력(Putting field performance)검사는 Pelz(2000)가 고안한 50-Ball test를 이용하여 측정되었다(Figure 9). 총 50개의 지점에서 퍼팅을 하여 총 타수를 확인하는 검사이다. 50-Ball test 방법은 하나의 홀컵을 중심으로 1m, 2m, 3m, 4m, 5m 거리에서 퍼팅을 실시하게 된다. 이러한 퍼팅과정으로 10개 라인, 총 50개 지점에서 실시한다. 공이 홀컵에 들어갈 때까지 퍼팅을 하며 이 때 총 퍼팅개수를 기록하는 방식이다.

dCollection CAU

Figure 9. 50-Ball test

참여자가 검사를 실시하기 전, 스팀프미터(Stimpmeter)를 이용하여 퍼팅 그린의 그린스피드를 측정하였다(Figure 10). 그린스피드의 기준은 약 3.2m이며, 그린스피드가 균일하지 않을 시에는 골프장 코스관리팀의 도움을 받아 그린스피드를 수정하였다. 골프공은 1m 간격으로 1줄에 5개씩 10개의 줄에 배치되었다. 공의 위치에는 플라스틱 마커를 사용하여 공의 위치를 표시하였다. 참여자는 한 개의 홀에 50회의 퍼팅을 시도하였다. 공이 홀에 들어간 경우에 다음 공으로 이동하여 다시 퍼팅을 실시하였고, 공이 홀에 들어가지 않으면 들어갈 때까지 퍼팅을 하여 총 퍼팅 개수를 기록하였다. 각 퍼팅 수행에 앞서 참여자에게는 120초 이내의 그린기울기를 탐색할 수 있는 시간이 주어졌다.

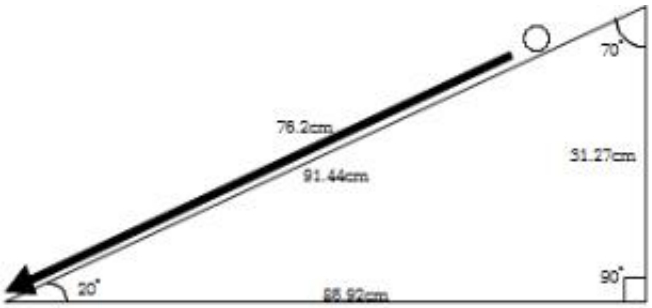


Figure 10. Stimpmeter

dCollection CAU

3. 연구절차

문헌조사를 시작으로 본 연구의 이론적 개념과 가설이 설정되었다. IM집단에게 제공된 IM훈련의 구성은 총 12회기이며, 72시간 간격으로 시행되었다. 1회 훈련에는 약 50분의 시간이 소요되었다. 운동타이밍, 퍼팅수행 중 뇌파, 주의집중, 퍼팅수행능력 측정은 훈련 시작 전 사전검사, 훈련 6회기 종료 후 중간검사, 훈련 12회기 종료 후 사후검사로 총 3회 실시되었다. 측정을 통해 얻어진 사전, 중간, 사후검사의 결과는 통계절차를 통해 분석되었다. Figure 11은 본 연구의 절차를 도식화하여 보여주고 있다.

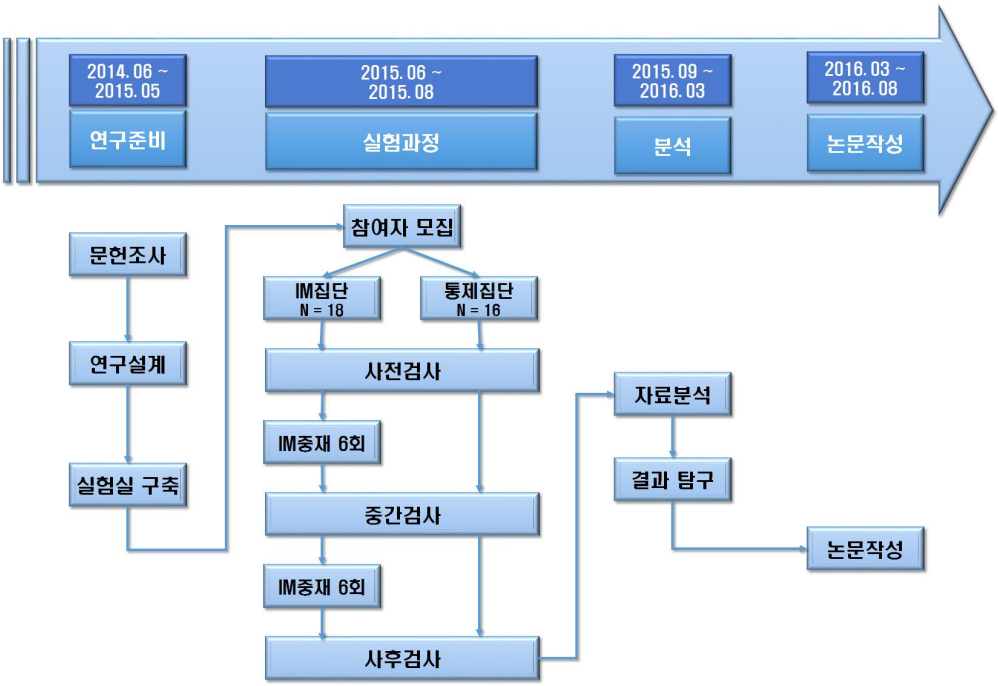


Figure 11. Research process model

dCollection CAU

4. 골프퍼팅을 위한 IM훈련 프로그램

IM훈련 프로그램은 본 연구의 연구자를 포함해 IM전문가 자격을 보유한 3인의 전문가회의를 통해 개발되었다. 총 12회기로 1회당 준비시간을 포함하여 약 50분으로 설정하였으며, 훈련 간격은 72시간 주기로 주 2회 시행되었다. 실험참여자는 가벼운 운동복을 착용하였고, 훈련시간은 식사시간 전후 1시간을 피하여 시행하였다. 모든 동작의 총 반복횟수는 236,000번이며 각 회기의 동작반복 횟수는 1500번에서 2200번으로 설정하였다. 각 회기 별 훈련프로그램은 [부록 2]에 제시되어 있다.

앞서 소개한 전체형 검사(LFA)의 기본동작 13가지는 손과 발의 단일 움직임 또는 상하 좌우의 협응 움직임으로 구성되어 있으며, 추가로 본 연구에서는 골프퍼팅 동작을 활용한 세 가지 동작을 개발, 적용하였다. 먼저 14번째 동작인 '퍼팅-양손(putting-hands)'은 빈손으로 퍼팅동작을 수행하며 왼손 손등에 장착된 버튼트리거를 이용하여 고정된 물체(의자)를 치는 동작이다. 15번째 동작인 '퍼팅-어깨(putting-shoulder)'는 양손에 퍼터를 들고 퍼팅동작을 하며 벽면에 고정된 버튼트리거를 왼쪽 어깨로 치는 것이다. 마지막 동작인 '퍼팅-퍼터(Putting-putter)'는 실제 퍼팅을 하듯 어드레스 한 뒤 퍼터를 이용하여 고정된 물체에 부착된 탭매트를 치는 동작이다.

일정한 간격(54bpm)의 메트로놈 음에 맞춰 동작을 실시할 때 반응타이밍 오차범위는 1ms 단위로 측정된다. 정확한 타이밍의 기준(Super-Right-On, SRO)은 ±15ms이며 최대 느리거나 빠른 반응타이밍은 ±554ms까지 기록된다. 이러한 타이밍 오차는 시각 정보로 제공된다. 훈련 난이도(Difficulty)를 100으로 설정하였을 때 15ms 이내는 녹색, 16ms~100ms은 노란색, 101ms~554ms은 빨간색으로 표시되고 반응이 빠른 경우 모니터의 좌측, 느린 경우 우측, 15ms이내의 반응에서는 가운데에 각 색상이 표시된다. 실험참여자는 시각정보를 통해 자신의 타이밍에 대한 피드백을 실시간으로 확인할 수 있다. 청각피드백의 경우 타이밍이 ±15ms이내에 이뤄지면 양쪽

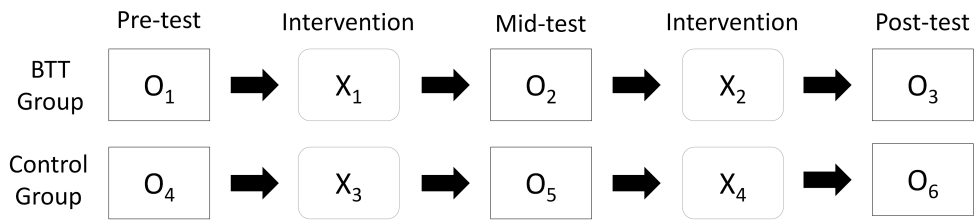
dCollection CAU

헤드셋을 통해 맑은 종소리를 듣게 된다. 타이밍이 빠른 경우에는 헤드셋 왼쪽에서, 느린 경우에는 오른쪽에서 “벅~”과 같이 둔탁한 소음(16ms~100ms) 또는 “뚜~”와 같은 소음(101ms~554ms)으로 피드백이 제공된다.

dCollection CAU

5. 연구설계

본 연구설계 방법은 집단(2수준)과 시기(3수준)를 독립변인으로 한 이원혼합설계(two factor mixed design)이며 종속변인은 타이밍오차, 뇌파, 주의집중, 퍼팅 기술수행능력, 퍼팅 현장수행능력이다. 사전-중간-사후 3회 측정 간 6회기의 IM훈련이 중재방법(Intervention)으로 총 12회기 실시되었다. 모든 참여자는 동일한 골프기술훈련을 거쳤다. 실험집단이 IM훈련에 참여할 때 통제집단은 퍼팅그린에서 자율적인 퍼팅연습을 하였다. 사전검사를 시작으로 종속변인을 측정하였고 동시에 집단 동질성 검사를 하였다. 3주간 IM훈련 직후(6회기 직후)에 중간검사를, 다시 3주간 IM훈련이 실시된 후(12회기 직후) 사후검사를 하였다. 본 연구 설계를 도식화하면 Figure 12와 같다.



Note.
$X_{1\sim2}$: Golf ordinary practice + Interactive metronomr training(6times, 60min).
$X_{3\sim4}$: Golf ordinary practice.
$O_{1\sim6}$: Brain timing test(LFA), EEG test with putting, Putting skills test, Putting field test.

Figure 12. Research design

dCollection CAU

6. 자료처리

두 집단의 동일성검증을 위하여 일반적 특성과 사전검사 결과에 대하여 독립표본 t검정을 실시하였다. 사전, 중간, 사후에 걸쳐 측정된 변인의 평균, 표준편차 값을 구하기 위하여 기술통계분석을 하였다. 운동타이밍 능력의 변화를 확인하기 위해 세 가지 하위요인(양측성 타이밍, 조정성 타이밍, 비조정성 타이밍)의 측정값에 대한 다변량분산분석(MANOVA)를 실시하였다. 사전, 중간, 사후검사에서 측정된 운동타이밍 능력, 뇌파, 주의집중지수, 퍼팅수행능력의 변화와 집단 간 차이를 확인하기 위해 반복측정에 의한 이원변량분석(2RG×3RM two-way ANOVA with repeated measures)을 추진했다. 본 연구의 통계결과의 유의수준은 $p<.05$에서 검증하였으며, 통계처리는 SPSS ver.18.0 프로그램을 사용하였다.

dCollection CAU

IV. 결과

본 연구는 IM훈련이 골프선수의 운동타이밍에 미치는 효과와 퍼팅수행 중 나타나는 뇌파의 변와, 실제퍼팅수행능력에 미치는 효과를 분석하였다. 퍼팅수행능력은 실험실에서 측정되는 퍼팅 기술수행능력과 실제 퍼팅그린에서 실시된 퍼팅 현장수행능력으로 구분하여 측정되었다. 6주간 현장실험을 통하여 훈련 시작 전 사전검사를 시작으로, 훈련 6회기 종료 후 중간검사, 훈련 12회기 종료 후 사후검사에서 측정된 변인들을 분석한 결과들을 다음과 같이 제시하였다.

1. 운동타이밍 능력 검사

Table 4는 사전, 중간, 사후검사에서 나타난 IM집단과 통제집단의 운동타이밍에 대한 평균과 표준편차들이다. 운동타이밍은 양측성 타이밍(Bilateral timing), 조정성 타이밍(Adjusted timing), 비조정성 타이밍(Unadjusted timing)으로 사전, 중간, 사후검사를 통해 측정되었다. Table 4에 나타난 바와 같이, 두 집단 모두 사전검사에 비해 사후검사에서 운동타이밍(양측성, 조정성, 비조정성) 오차점수의 감소를 나타내었다.

dCollection CAU

Table 4. Motor timing Means and SD for IM and CON groups

Var.	Group	IM(n=18)		CON(n=16)	
		M	SD	M	SD
Bilateral timing	pre	105.42	52.61	111.66	68.79
	mid	74.31	27.69	106.81	70.76
	post	50.93	16.02	89.31	41.68
Adjusted timing	pre	72.48	24.33	64.19	27.85
	mid	49.64	11.95	63.46	24.44
	post	40.73	9.23	63.48	21.16
Unadjusted timing	pre	79.40	26.83	73.01	31.82
	mid	54.15	13.43	69.02	24.98
	post	42.50	9.97	67.36	20.17

Note. IM=Interactive metronome training group, CON=Control group.

운동타이밍(양측성, 조정성, 비조정성)에 대한 집단(2) x 시기(3) MANOVA를 실시한 결과, 시기의 주효과를 보이고 있으며(Wilks lamda=.474, p<.01), 집단과 시기의 상호작용 효과 역시 유의성을 나타내었다(Wilks lamda=.625, p<.01).

Table 5는 양측성 타이밍(Bilateral), 조정성 타이밍(Adjusted), 비조정성 타이밍(Unadjusted)에 대한 집단(2) x 시기(3) RM ANOVA 결과이다. Table 5에 나타난 바와 같이 집단 간 주효과는 모든 요인에서 유의성이 없었으나, 모든 요인에서 시기에 대한 주효과는 유의성을 보이고 있었다. 집단과 시기의 상호작용 효과는 비조정성 타이밍, 양측성 타이밍, 조정성 타이밍에서 모두 유의성을 보이고 있다.

dCollection CAU

Table 5. Results of ANOVAs for motor timing

		Source	SS	df	MS	F	*p*
Bilateral timing	Between-subject	Group	16797.82	1	16797.82	2.64	.113
		Error	202956.79	32	6342.40		
	Within-subject	Time	25036.23	2	12518.12	23.80	**.000**
		Time * Group	4963.29	2	2481.65	4.72	**.012**
		Error(Time)	33662.84	64	525.98		
Adjusted timing	Between-subject	Group	2257.45	1	2257.45	2.13	.155
		Error	33993.29	32	1062.29		
	Within-subject	Time	4769.17	2	2384.59	21.03	**.000**
		Time * Group	4325.92	2	2162.96	19.07	**.000**
		Error(Time)	7258.07	64	113.41		
Unadjusted timing	Between-subject	Group	3138.04	1	3138.04	2.59	.118
		Error	38806.02	32	1212.69		
	Within-subject	Time	8028.58	2	4014.29	29.08	**.000**
		Time * Group	4313.65	2	2156.82	15.62	**.000**
		Error(Time)	8834.87	64	138.04		

Note. $p<.05$

Figure 13은 양측성 타이밍(bilateral)의 변화와 집단과 시기의 상호작용 효과를 보여주고 있다. IM집단은 통제집단 보다 유의하게 감소된 오차점수들을 보이고 있다. IM집단은 각각 105.42ms, 74.31ms, 50.93ms의 타이밍 오차 평균점수를 보이고 있으며 통제집단은 각 시기별 검사에서 111.66ms, 106.81ms, 89.31ms으로 타이밍 오차 평균점수를 보이고 있다.

dCollection CAU

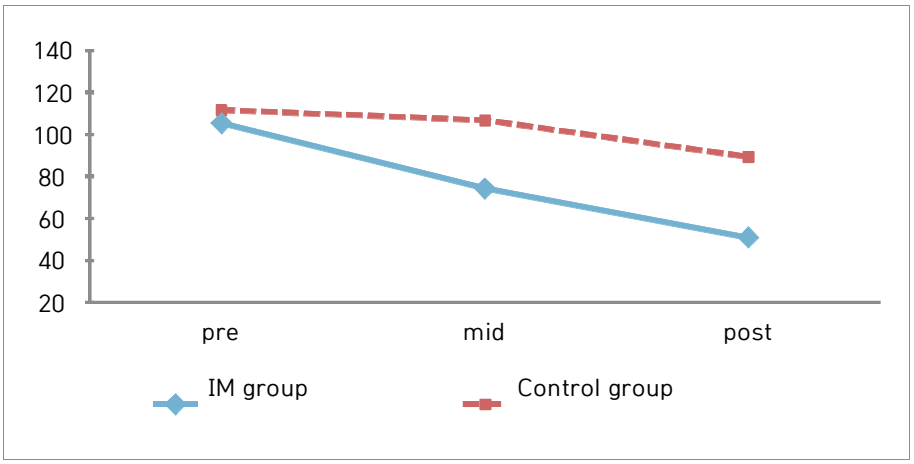


Figure 13. Results of group x time for bilateral timing

Figure 14는 조정성 타이밍(adjusted)의 변화와 집단 X 시기 상호작용 효과를 보여주고 있다. IM집단은 통제집단에 비해 유의한 오차 감소가 나타났으며, 통제집단의 변화는 나타나지 않았다. 각 시기별 타이밍 오차의 평균점수를 알아보면, IM집단은 사전검사 72.48ms, 중간검사 49.64ms, 사후검사 40.73ms의 평균점수를 보이고 있다. 통제집단의 시기별 평균점수는 사전검사 64.19ms, 중간검사 63.49ms, 사후검사 63.48ms으로 나타났다.

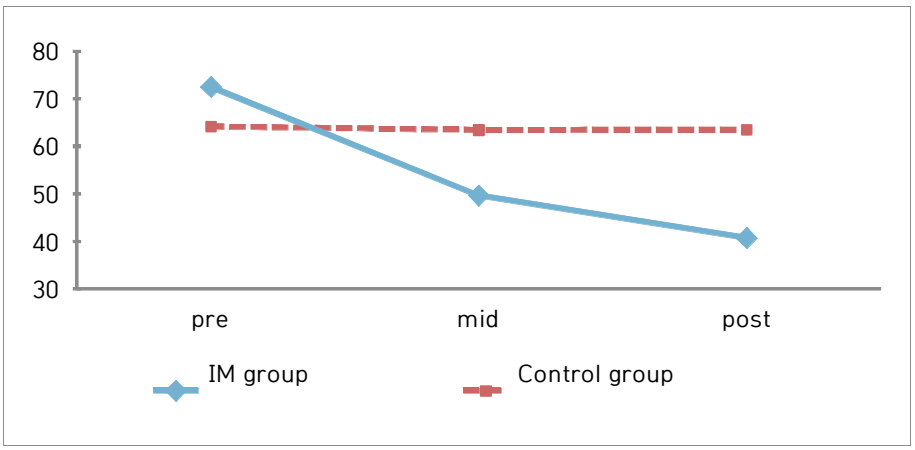


Figure 14. Results of group x time for adjusted timing

dCollection CAU

Figure 15는 비조정성 타이밍(unadjusted) 변화와 집단 X 시기 상호작용 효과를 보여주고 있다. 비조정성 타이밍의 오차 평균점수 변화를 살펴보면, IM집단은 사전검사(79.40ms)보다 중간검사(54.14ms)에서 현저한 오차 감소가 나타났고 사후검사(42.50ms)에서 역시 지속적인 타이밍 오차의 감소가 나타났다. 반면 통제집단은 사전검사(73.01), 중간검사(69.02), 사후검사(67.36)에서 큰 변화가 관찰되지 않았다. IM집단이 통제집단보다 유의하게 감소된 타이밍 오차점수가 나타난 것을 알 수 있다.

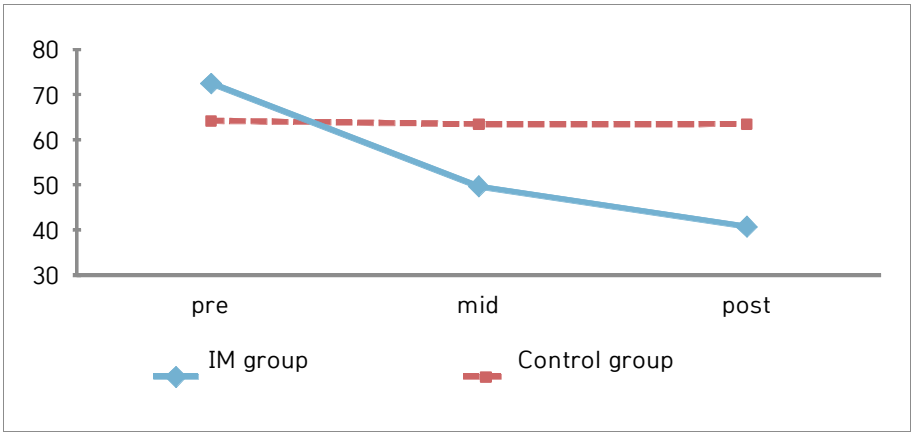


Figure 15. Results of group x time for unadjusted timing.

dCollection CAU

2. 뇌파와 주의집중지수 검사

1) 세타파

Table 6은 참여자의 좌측 전전두엽(Fp1), 우측 전전두엽(Fp2)의 세타파의 변화를 기술통계 분석한 결과이다. 좌측 전전두엽(Fp1)의 세타파의 상대파워 값을 측정한 결과, IM집단의 사전검사 28.80%이며, 중간검사에서는 27.69%로 감소되었다. 사후검사에서는 25.40%로 앞선 검사에 비해 큰 감소가 관찰된다. 통제집단은 사전검사 28.20%, 중간검사 28.31%, 사후검사 28.53%로 큰 변화가 나타나지 않았다. 우측 전전두엽(Fp2) 세타파 상대파워 평균값을 분석한 결과, IM집단은 사전검사(28.72%), 중간검사(28.05%), 사후검사(25.73%)에서 전반적으로 감소하는 추세를 보였다. 특히 중간검사에 비해 사후검사에서 급격한 감소를 보였다. 통제집단은 사전검사(28.04%), 중간검사(28.18%), 사후검사(28.11%)에서 큰 변화를 확인할 수 없었다.

Table 6. Theta wave Means and SD for IM and CON groups

Var.	Group	IM Group(n=18)		Control group(n=16)	
		M	SD	M	SD
Fp1 Theta	pre	28.80	2.13	28.20	1.38
	mid	27.69	2.66	28.31	1.51
	post	25.40	2.76	28.53	2.19
Fp2 Theta	pre	28.72	2.03	28.04	1.64
	mid	28.05	2.81	28.18	1.46
	post	25.73	2.84	28.11	2.44

좌측 전전두엽(Fp1)과 우측 전전두엽(Fp2)의 세타파 상대파워 값 측정 결과에 대한 집단(2) x 시기(3) RM ANOVA를 실시한 결과(Table 7), 좌측

dCollection CAU

전전두엽(Fp1)과 우측 전전두엽(Fp2) 모두 집단에 따른 유의한 주효과가 나타나지 않았다(p>.05). 그러나 시기에 따른 주효과의 유의성이 나타났다(p<.01). 집단 x 시기의 상호작용 효과 역시 좌측 전전두엽(Fp1)과 우측 전전두엽(Fp2) 모두 유의성을 보이고 있다(p<.01).

Table 7. Results of ANOVAs for Theta wave

		Source	SS	df	MS	F	*p*
Fp1 Theta	Between-subject	Group	28.13	1	28.13	3.349	.077
		Error	268.78	32	8.40		
	Within-subject	Time	41.36	2	20.68	6.856	**.002**
		Time * Group	61.10	2	30.55	10.128	**.000**
		Error(Time)	193.04	64	3.02		
Fp2 Theta	Between-subject	Group	9.51	1	9.51	.967	.333
		Error	314.41	32	9.83		
	Within-subject	Time	40.84	2	20.42	6.946	**.001**
		Time * Group	42.56	2	21.28	7.238	**.001**
		Error(Time)	188.13	64	2.94		

Note. p<.05

Figure 16은 좌측 전전두엽(Fp1)과 우측 전전두엽(Fp2) 세타파의 분석결과에서 나타난 집단과 시기의 상호작용 효과를 보여주고 있다. IM집단의 좌측 전전두엽(Fp1) 세타파는 통제집단에 비해 유의한 감소가 나타났으며 우측 전전두엽(Fp2) 역시 IM집단이 통제집단에 비해 유의한 감소를 나타냈다. IM집단은 중간검사까지 큰 변화는 나타나지 않았으나, 훈련 중반이 넘어서면서 현저한 감소가 나타났다. 반면 통제집단의 경우 변화가 나타나지 않았다.

dCollection CAU

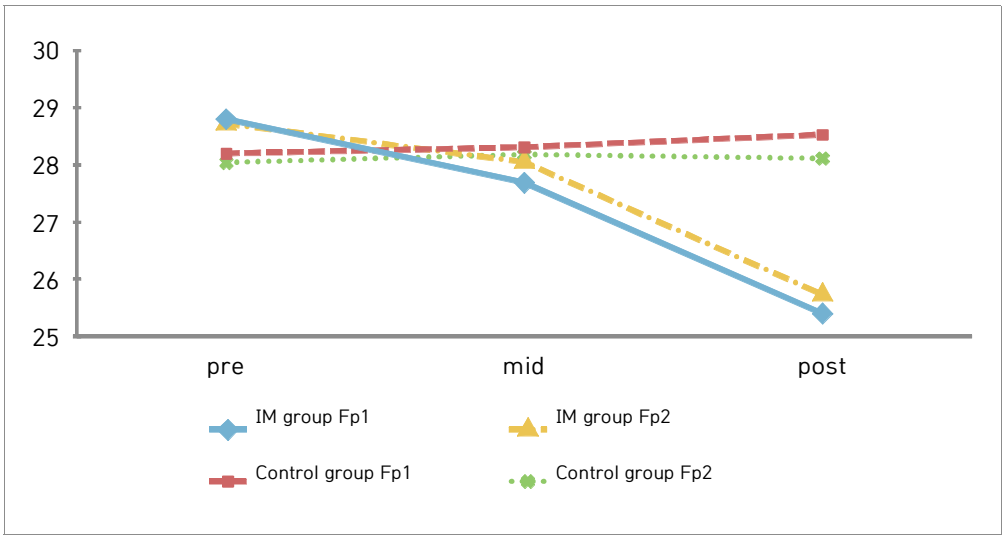


Figure 16. Results of group x time for Theta wave(Fp1, Fp2)

2) SMR파

골프퍼팅 시 발생하는 각 집단의 좌측 전전두엽(Fp1), 우측 전전두엽(Fp2)에서 나타나는 SMR파 상대 파워 값의 평균과 표준편차의 변화는 Table 8과 같이 나타났다.

IM집단의 좌측 전전두엽(Fp1) SMR파는 사전검사 6.77%, 중간검사 7.05%, 사후검사 7.47%로 시기에 따라 증가하는 추세를 보였다. 통제집단의 좌측 전전두엽(Fp1) SMR파는 사전검사 6.50%, 중간검사 6.72%, 사후검사 6.24%로 중간검사에서 약간 증가하였지만 사후검사에서 다시 감소하는 추세를 보이고 있다. 우측 전전두엽(Fp2) SMR파를 분석한 결과, IM집단은 사전검사(6.63%), 중간검사(6.91%), 사후검사(7.77%)에서 시기에 따라 증가하는 추세가 나타났다. 통제집단은 사전검사(6.41%), 중간검사(6.69%), 사후검사(6.35%)로 좌측 전전두엽(Fp1)과 같은 경향으로 조금 증가 후 다시 감소하는 모습을 보였다.

dCollection CAU

Table 8. SMR wave Means and SD for IM and CON groups

Var.	Group	IM Group(n=18)		Control group(n=16)	
		M	SD	M	SD
Fp1 SMR	pre	6.77	1.20	6.50	1.10
	mid	7.05	1.39	6.72	1.09
	post	7.47	1.73	6.24	0.82
Fp2 SMR	pre	6.63	1.37	6.41	1.31
	mid	6.91	1.52	6.69	1.32
	post	7.77	1.59	6.35	1.11

좌측 전전두엽(Fp1)과 우측 전전두엽(Fp2)의 SMR파 측정값에 대한 집단(2) x 시기(3) RM ANOVA를 실시한 결과(Table 9), 좌측 전전두엽(Fp1)과 우측 전전두엽(Fp2) 모두 집단에 따른 유의한 주효과가 나타나지 않았다(p>.05). 시기에 따른 주효과 유의성 검증에서 역시 좌측 전전두엽(Fp1)와 우측 전전두엽(Fp2)에서 유의성이 나타나지 않았다(p>.05). 그리고 좌측 전전두엽(Fp1)의 집단과 시기의 상호작용 효과 역시 유의성이 나타나지 않았지만 우측 전전두엽(Fp2)의 경우 집단과 시기의 상호작용 효과의 유의성을 보이고 있다(p<.05).

dCollection CAU

Table 9. Results of ANOVAs for SMR wave

		Source	SS	df	MS	F	*p*
Fp1 SMR	Between-subject	Group	9.49	1	9.49	3.142	.086
		Error	96.62	32	3.02		
	Within-subject	Time	1.24	2	0.62	.687	.506
		Time * Group	4.84	2	2.42	2.675	.076
		Error(Time)	57.93	64	0.91		
Fp2 SMR	Between-subject	Group	9.81	1	9.81	2.636	.114
		Error	119.06	32	3.72		
	Within-subject	Time	4.98	2	2.49	2.451	.094
		Time * Group	8.15	2	4.07	4.007	**.022**
		Error(Time)	65.07	64	1.02		

Note. $p<.05$

Figure 17은 두 집단의 우측 전전두엽(Fp2)의 SMR파 변화과정과 상호작용 효과를 보여주고 있다. 두 집단은 사전검사와 중간검사 간 비슷한 수준의 증가가 나타났지만 IM집단은 중간검사에 비해 사후검사에서 큰 폭의 증가(+.86)가 관찰되었다. 반면 통제집단은 중간검사 이후 사후검사에서 감소(-.34)를 보여 두 집단은 상반된 추세가 관찰되었다.

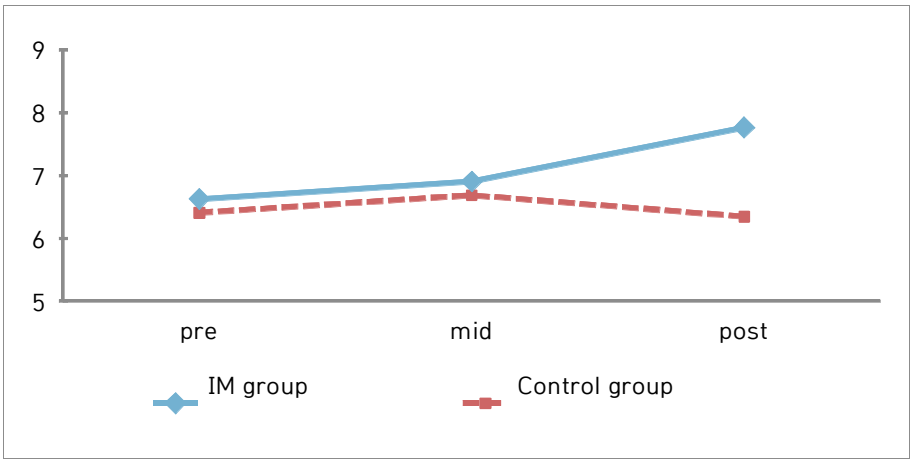


Figure 17. Results of group x time for SMR wave(Fp2)

dCollection CAU

3) 중간 베타파

Table 10은 참여자의 좌측 전전두엽(Fp1), 우측 전전두엽(Fp2)에서 나타나는 중간 베타파의 상대파워 값 변화를 기술통계 분석한 결과이다. IM집단의 좌측 전전두엽(Fp1) 중간 베타파 상대파워 값은 사전검사에서 4.80%였으며 중간검사에서는 5.23%로 나타났다. 사후검사는 5.77%로 사전검사와 중간검사에 비해 증가된 경향을 보이고 있다. 통제집단은 사전검사에서 4.53%, 중간검사 4.70%, 사후검사 4.48%로 나타났다. 우측 전전두엽(Fp2) 중간 베타파 상대파워 값은 IM집단이 사전검사(4.49%), 중간검사(5.03%), 사후검사(5.84%)에서 점차 증가하는 추세가 나타났다. 통제집단은 사전검사에서 4.49%, 중간검사에서 4.81%, 사후검사에서 4.40%로 중간검사에서 증가된 뒤 사후검사에서 다시 감소하는 추세를 보이고 있다.

Table 10. Mid-Beta wave Means and SD for IM and CON groups

Var. \ Group		IM Group(n=18)		Control group(n=16)	
		M	SD	M	SD
Fp1 Mid Beta	pre	4.80	1.08	4.53	0.83
	mid	5.23	1.52	4.70	0.97
	post	5.77	1.87	4.48	0.84
Fp2 Mid Beta	pre	4.49	1.12	4.49	1.12
	mid	5.03	1.43	4.81	1.32
	post	5.84	1.85	4.40	0.90

좌측 전전두엽(Fp1)과 우측 전전두엽(Fp2)의 중간 베타파 측정값에 대한 집단(2) x 시기(3) RM ANOVA를 실시한 결과(Table 11), 좌측 전전두엽(Fp1)과 우측 전전두엽(Fp2) 모두 집단과 시기에 따른 유의한 주효과가 나타나지 않았다(p>.05). 그러나 집단 x 시기의 상호작용 효과는 좌측 전전두엽(Fp1)에서는 유의한 효과가 나타나지 않았으나, 우측 전전두엽(Fp2)의 경우 유의한 상호작용 효과가 나타났다(p<.05).

dCollection CAU

Table 11. Results of ANOVAs for Mid-Beta wave

		Source	SS	df	MS	F	*p*
Fp1 Mid-Beta	Between-subject	Group	12.39	1	12.39	3.984	.054
		Error	99.48	32	3.11		
	Within-subject	Time	3.66	2	1.83	2.159	.124
		Time * Group	4.73	2	2.37	2.793	.069
		Error(Time)	54.25	64	0.85		
Fp2 Mid-Beta	Between-subject	Group	9.77	1	9.77	2.623	.115
		Error	119.21	32	3.73		
	Within-subject	Time	4.78	2	2.39	2.665	.077
		Time * Group	8.49	2	4.24	4.732	**.012**
		Error(Time)	57.39	64	0.90		

Note. $p<.05$

Figure 18은 우측 전전두엽(Fp2)의 중간 베타파 변화과정과 상호작용 효과의 형태를 보여주고 있다. 우측 전전두엽(Fp2) SMR파의 상대파워 값은 두 집단이 유사한 형태로 사전검사에 비해 중간검사에서 증가된 값을 보이고 있다. 그러나 IM집단은 통제집단에 비해 중간검사-사후검사에서 유의한 증가가 관찰되었다. 반면 통제집단은 사후검사에서 다시 감소하는 추세가 관찰되었다.

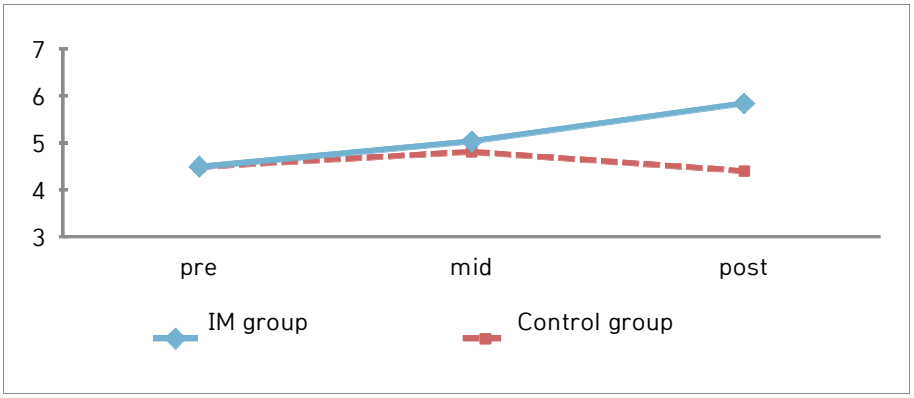


Figure 18. Results of group x time for Mid-Beta wave(Fp2)

dCollection CAU

4) 높은 베타파

골프퍼팅 시 발생하는 각 집단의 좌측 전전두엽(Fp1)과 우측 전전두엽(Fp2) 높은 베타파 상대 파워 값의 평균과 표준편차의 변화는 Table 12와 같이 나타났다. IM집단의 좌측 전전두엽(Fp1) 높은 베타파는 사전검사에서 2.26%, 중간검사 2.78%, 사후검사 3.35%로 시기에 따른 증가 추세가 나타났다. 통제집단은 사전검사 2.21%, 중간검사 2.43%, 사후검사 2.20%로 나타났다. 우측 전전두엽(Fp2) 높은 베타파의 경우 IM집단은 사전검사에서 2.13%, 중간검사에서 2.59%, 사후검사에서 3.10%로 증가하는 추세가 나타났으며, 통제집단은 사전검사(2.23%)와 중간검사(2.56%)에서 증가 후 사후검사(2.08%)에서 다시 감소하는 추세를 보였다.

Table 12. High-Beta wave Means and SD for IM and CON groups

Var. \ Group		IM Group(n=18)		Control group(n=16)	
		M	SD	M	SD
Fp1 High Beta	pre	2.26	0.59	2.21	0.72
	mid	2.78	1.42	2.43	0.74
	post	3.35	2.10	2.20	0.63
Fp2 High Beta	pre	2.13	0.63	2.23	0.90
	mid	2.59	1.32	2.56	1.08
	post	3.10	1.73	2.08	0.65

좌측 전전두엽(Fp1)과 우측 전전두엽(Fp2)의 높은 베타파 측정값에 대한 집단(2) x 시기(3) RM ANOVA를 실시한 결과(Table 13), 좌측 전전두엽(Fp1)과 우측 전전두엽(Fp2) 모두 집단에 따른 유의한 주효과가 나타나지 않았다($p>.05$). 시기에 따른 주효과 유의성 검증에서 역시 좌측 전전두엽(Fp1)와 우측 전전두엽(Fp2)에서 유의성이 나타나지 않았다($p>.05$). 좌측 전전두엽(Fp1)의 집단 x 시기의 상호작용 효과 역시 유의성이 나타나지 않았지만($p>.05$), 우측 전전두엽(Fp2)의 집단 x 시기의 상호작용 효과에서는 유의성을 나타냈다($p<.05$).

dCollection CAU

Table 13. Results of ANOVAs for High-Beta wave

		Source	SS	df	MS	F	*p*
Fp1 High-Beta	Between-subject	Group	6.72	1	6.72	2.761	.106
		Error	77.85	32	2.43		
	Within-subject	Time	5.18	2	2.59	2.803	.068
		Time * Group	5.54	2	2.77	3.000	.057
		Error(Time)	59.09	64	0.92		
Fp2 High-Beta	Between-subject	Group	2.55	1	2.55	1.097	.303
		Error	74.24	32	2.32		
	Within-subject	Time	3.64	2	1.82	2.396	.099
		Time * Group	6.42	2	3.21	4.224	**.019**
		Error(Time)	48.64	64	0.76		

Note. $p<.05$

Figure 19는 우측 전전두엽(Fp2)의 높은 베타파 변화과정과 상호작용 효과의 형태를 보여주고 있다. IM집단은 사전검사, 중간검사, 사후검사에서 시간에 따른 지속적인 증가가 관찰되었으나 통제집단은 중간검사까지 IM집단과 유사한 형태의 변화를 보이다 사후검사에서 크게 감소하는 것으로 나타났다.

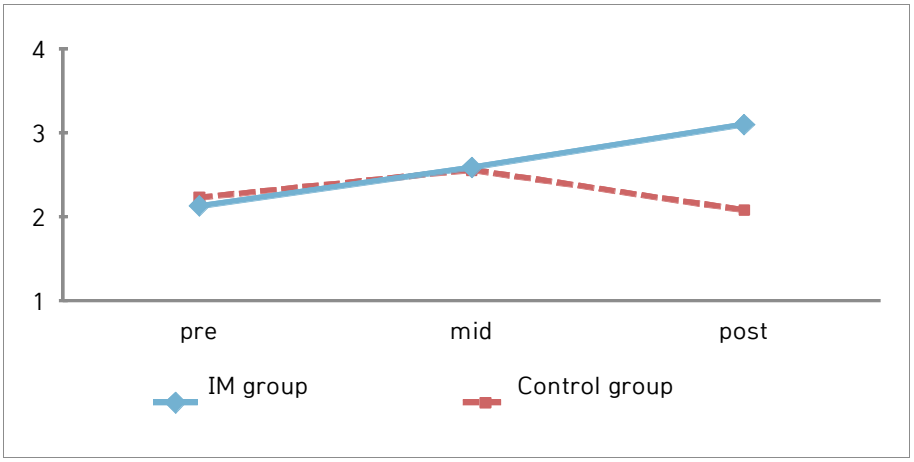


Figure 19. Results of group x time for High-Beta wave(Fp2)

dCollection CAU

5) 주의집중지수(RSMT)

골프퍼팅 중 측정된 뇌파를 이용하여 확인한 주의집중지수(RSMT)를 기술통계 분석한 결과는 Table 14에 제시되었다. IM집단의 시기별 평균과 표준편차는 사전검사 .40±.09, 중간검사 .44±.12, 사후검사 .53±.15로 나타났다. 통제집단은 사전검사 .39±.08, 중간검사 .41±.09, 사후검사 .38±.08로 나타났다. IM집단은 시기에 따라 주의집중지수가 증가하는 추세를 보이고 있으며 통제집단의 주의집중지수는 사전검사에 비해 중간검사에서 증가하였지만 사후검사에서 가장 낮은 평균값으로 감소한 것을 확인하였다.

Table 14. RSMT Means and SD for IM and CON groups

Var. \ Group		IM Group(n=18)		Control group(n=16)	
		M	SD	M	SD
RSMT	pre	.40	.09	.39	.08
	mid	.44	.12	.41	.09
	post	.53	.15	.38	.08

주의집중지수(RSMT)의 변화에 대해 RM ANOVA를 실시한 결과는 Table 15와 같다. 집단에 따른 주효과와 시기에 따른 주효과에서 각각 유의성이 나타났다(p<.05). 또 시기와 집단의 상호작용 효과 역시 유의성을 보이고 있다(p<.001).

Table 15. Results of ANOVA for ratio of SMR + Mid-Beta & Theta wave

		Source	SS	df	MS	F	*p*
RSMT	Between-subject	Group	0.10	1	0.10	4.635	**.039**
		Error	0.69	32	0.02		
	Within-subject	Time	0.06	2	0.03	5.654	**.005**
		Time * Group	0.10	2	0.05	8.629	**.000**
		Error(Time)	0.35	64	0.01		

Note. p<.05

dCollection CAU

상호작용이 나타난 부분의 변화를 알아보기 위해 Figure 20을 제시하였다. IM집단의 주의집중지수(RSMT)는 사전검사(.40)와 중간검사(.44)에서 약간 증가한 뒤 사후검사(.53)에서 급격한 증가를 보였다(+.13). 반면 통제집단의 경우 사전검사(.39)와 중간검사(.41)에서 약간 증가하다 다시 사후검사(.38)에서 감소하였다(-.01).

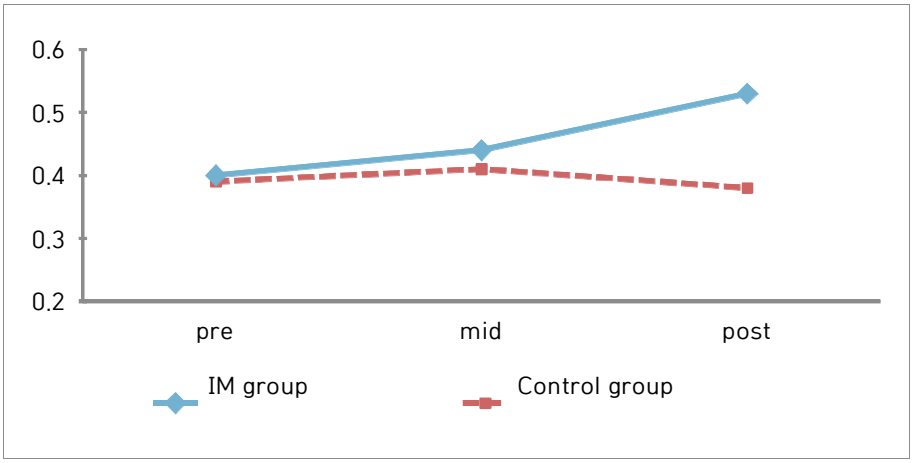


Figure 20. Results of group x time for RSMT(Ratio of SMR+ Mid-Beta & Theta)

dCollection CAU

3. 퍼팅수행능력 검사

1) 기술수행능력

SAM PUTTLAB를 이용하여 퍼팅성향, 퍼팅타이밍, 퍼팅일관성, 퍼팅기술 점수를 측정한 기술통계 결과는 Table 16과 같이 나타났다.

Table 16. Putting skills performance Means and SD for IM and CON groups

Var. \ Group		IM Group(n=18)		Control group(n=16)	
		M	SD	M	SD
Putting tendency	pre	72.96	5.83	75.05	5.99
	mid	73.97	6.05	75.16	6.17
	post	75.74	4.81	76.28	4.61
Putting timing	pre	68.47	6.15	70.23	9.15
	mid	73.31	6.77	70.65	8.44
	post	76.08	7.92	71.43	8.80
Putting consistency	pre	70.85	5.00	72.01	8.17
	mid	70.95	5.73	72.06	6.02
	post	75.03	4.32	73.29	7.06
Overall of putting skills score	pre	70.78	2.80	72.34	5.62
	mid	72.30	3.19	72.49	4.41
	post	75.48	3.53	73.58	4.63

Table 17은 퍼팅 기술수행능력 하위요인에 대한 집단(2) x 시기(3) RM ANOVA 결과이다. 먼저 퍼팅성향에서 집단 및 시기에 따른 주효과는 나타나지 않았다(p>.05). 또한 집단 x 기간에 따른 상호작용 효과가 나타나지 않았다(F=.423, p=.657). 퍼팅타이밍에서도 집단에 대한 주효과는 나타나지 않았으나 시기에 대한 주효과는 유의성을 보이고 있다(F=11.113, p<.001). 그리고 퍼팅타이밍은 집단 x 시기에 따른 상호작용 효과가 나타났다(F=6.107, p=.004). 퍼팅일관성에서 역시 집단과 훈련기간에 따른 상호작용 효과는 나타나지 않았으나(F=2.696, p=.075), 시기에 따른 주효과의 유의성

dCollection CAU

은 나타났다(F=9.512, p<.001). 퍼팅기술점수(Putting skills overall)의 경우, 훈련기간에 따른 주효과가 나타났으며(F=16.951, p<.001), 집단 x 시기에 따른 상호작용 효과가 나타났다(F=5.470, p=.006).

Table 17. Results of ANOVAs for putting skills performance

		Source	SS	df	MS	*F*	*p*
Putting tendency	Between-subject	Group	41.34	1	41.34	0.590	.448
		Error	2243.63	32	70.11		
	Within-subject	Time	72.73	2	36.37	2.985	.085
		Time * Group	10.30	2	5.15	0.423	.657
		Error(Time)	779.66	64	12.18		
Putting timing	Between-subject	Group	86.78	1	86.78	0.554	.462
		Error	5016.75	32	156.77		
	Within-subject	Time	332.47	2	166.24	11.113	**.000**
		Time * Group	182.71	2	91.35	6.107	**.004**
		Error(Time)	957.33	64	14.96		
Putting consistency	Between-subject	Group	0.81	1	0.81	0.008	.927
		Error	3041.31	32	95.04		
	Within-subject	Time	163.97	2	81.99	9.512	**.000**
		Time * Group	46.48	2	23.24	2.696	.075
		Error(Time)	551.64	64	8.62		
Putting skills overall	Between-subject	Group	0.07	1	0.07	0.002	.968
		Error	1306.08	32	40.82		
	Within-subject	Time	159.15	2	79.58	16.951	**.000**
		Time * Group	51.36	2	25.68	5.470	**.006**
		Error(Time)	300.44	64	4.69		

Note. p<.05

자세히 살펴보면, 퍼팅성향에서 IM집단은 사전(72.96점), 중간(73.97점), 사후(75.74점)에서 점차 증가하는 경향이 나타났다. 통제집단은 사전(75.05

dCollection CAU

점), 중간(75.16점), 사후(76.28점)에서 미세하게 증가하는 경향이 나타났다.

상호작용 효과가 나타난 퍼팅타이밍의 변화는 Figure 21에 제시되어있다. IM집단은 사전(68.47점), 중간(73.31점), 사후(76.08점)에서 큰 폭으로 증가하는 경향이 나타났다. 통제집단은 사전(70.23점), 중간(70.65점), 사후(71.43점)에서 약간 증가하였다.

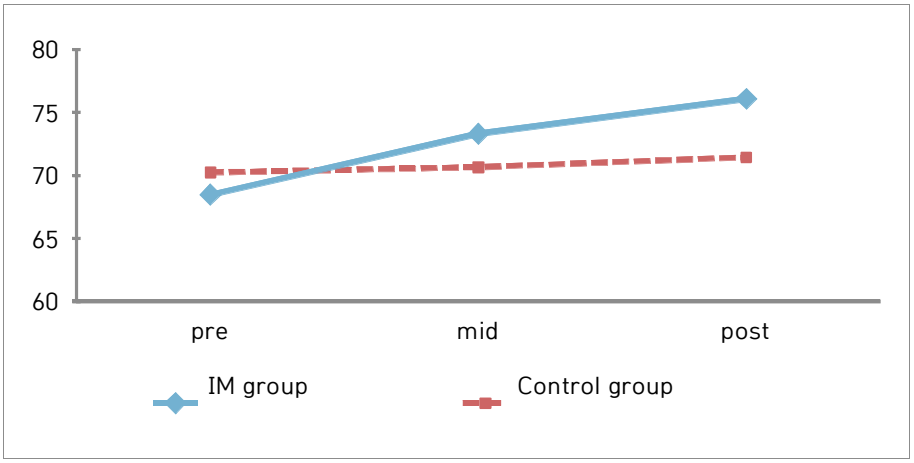


Figure 21. Results of group x time for putting timing

퍼팅일관성에서 IM집단은 사전(70.85점)과 중간(70.95점)에서는 큰 변화가 나타나지 않았으나, 사후(75.03점)에서 큰 폭으로 증가하는 경향이 나타났다. 통제집단은 사전(72.01점), 중간(72.06점), 사후(73.29점)으로 약간 증가하였다.

Figure 22는 퍼팅기술점수의 상호작용 효과를 보여주고 있다. IM집단은 사전(70.78점), 중간(72.30점), 사후(75.48점)에서 점차 증가하는 경향이 나타났다. 통제집단은 사전(72.34점), 중간(72.49점), 사후(73.58점)에서 미세한 증가를 나타냈다.

dCollection CAU

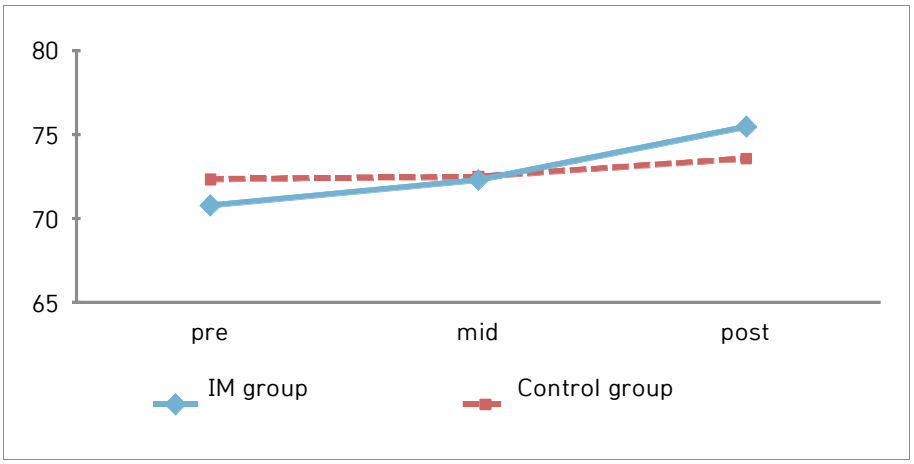


Figure 22. Results of group x time for overall putting skills score

2) 현장수행능력

12회기의 IM훈련을 통한 퍼팅 현장수행능력의 변화를 확인한 결과, 각 집단의 시기별 평균과 표준편차는 Table 18과 같이 나타났다.

Table 18. Putting field performance Means and SD for IM and CON groups

Var.	Group	IM Group(n=18)		Control group(n=16)	
		M	SD	M	SD
Field performance score	pre	83.78	2.88	82.63	3.58
	mid	81.50	3.29	82.19	3.51
	post	79.17	2.26	81.25	3.17

퍼팅 현장수행능력 검사결과에 대한 집단(2) x 시기(3) RM ANOVA를 실시한 결과를 Table 19에 제시하였다. 훈련기간에 따른 주효과의 유의성이 나타났다(F=14.633, p<.01). 또한 집단과 시기의 상호작용 효과 역시 유의성을 보이고 있다(F=4.291, p=.018).

dCollection CAU

Table 19. Results of ANOVAs for putting filed performance

		Source	SS	df	MS	F	*p*
Field performance score	Between-subject	Group	7.39	1	7.39	.390	.537
		Error	606.46	32	18.95		
	Within-subject	Time	152.20	2	76.10	14.633	**.000**
		Time * Group	44.63	2	22.32	4.291	**.018**
		Error(Time)	332.84	64	5.20		

Note. $p<.05$

Figure 23은 IM집단과 통제집단의 퍼팅 현장수행능력 검사의 상호작용 효과를 보여주고 있다. IM집단은 사전(83.78타), 중간(81.50타), 사후(79.17타)에서 지속적인 감소경향이 나타났고, 통제집단의 경우 사전(82.63타), 중간(82.19타), 사후(81.25타)로 비교적 적은 감소를 나타냈다.

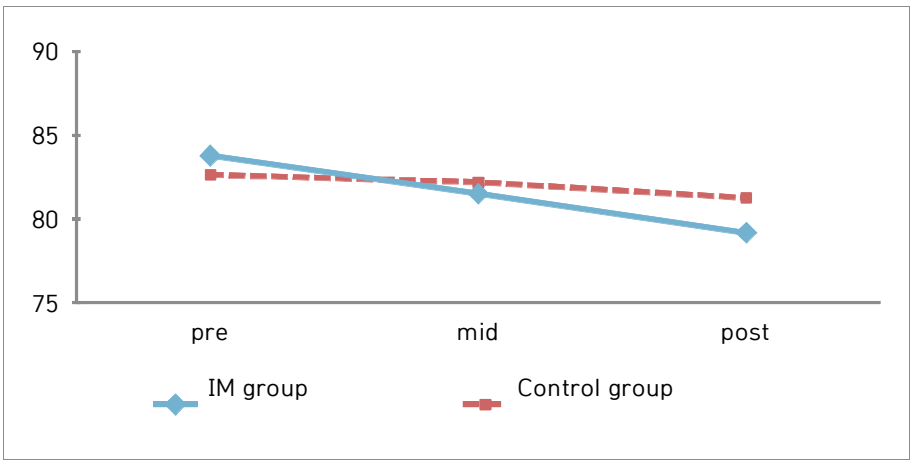


Figure 23. Results of group x time for putting field performance

dCollection CAU

V. 논의

본 연구의 결과에서 나타난 IM훈련을 통한 운동타이밍, 뇌파, 퍼팅수행능력의 변화는 심리기술과 운동기술의 동시적 향상이 가능한 새로운 훈련으로 IM훈련을 제안할 수 있는 자료로서 의미를 가진다고 사료되며, 다음과 같이 각 종속변인의 변화에 대해 논의하였다.

1. 타이밍 능력의 변화

본 연구에서는 골프선수를 대상으로 12회기의 IM훈련을 실시하여 훈련에 따른 운동타이밍 오차의 변화를 확인하였다. 그 결과, 비조정성 타이밍(Unadjusted), 조정성 타이밍(Adjusted), 양측성 타이밍(Bilateral) 모두 타이밍 오차가 감소하여 훈련을 통한 타이밍 능력 향상을 확인하였다. 특히 통제집단에 비해 실험집단의 오차 감소가 뚜렷하였으므로 본 연구에서 시행된 IM훈련이 효과적으로 이루어졌다는 것을 알 수 있다.

IM훈련을 실시하여 타이밍 오차를 확인한 Trujillo(2013)는 4주간의 IM훈련이 비조정성 타이밍의 유의한 오차감소를 일으켰다고 보고하였다. Taub, McGrew, 그리고 Keith(2007)는 IM훈련을 받은 후 50%의 리듬과 타이밍 능력의 향상이 나타났고, 훈련을 받지 않은 통제집단에 비해 유의한 향상이라고 설명하였다. Bartscherer와 Dole(2005)은 9세 유소년을 대상으로 IM훈련을 실시하여 시기별 비조정성 타이밍을 반복 측정한 결과, 사전검사(159.44ms), 중간검사(52.25ms), 사후검사(30.11ms)의 측정값 변화를 확인하여 IM훈련이 운동타이밍 오차감소에 상당한 효과가 있음을 보고하였다. 선행연구의 IM훈련에 따른 운동타이밍 오차감소 효과는 본 연구의 결과와 일치하며 IM훈련의 타당성을 증명하고 있다.

dCollection CAU

2. 뇌파와 주의집중력 변화

1) 뇌파의 변화

본 연구에서는 IM훈련이 퍼팅과정 중 수행단계에서 나타나는 뇌파(세타파, SMR파, 중간 베타파, 높은 베타파)에 미치는 효과를 확인하였다. 그 결과, IM훈련은 좌, 우측 전전두엽의 세타파를 감소시켰으며 우측 전전두엽의 속파(SMR파, 베타파)를 증가하게 하였다.

골프퍼팅과정은 탐색단계와 수행단계로 나눌 수 있다. 탐색단계는 그린읽기와 거리측정 후 운동계획과 의사결정을 하는 인지과제이다. 다음 수행단계는 공 앞에 준비 자세를 취했을 때부터 골프공을 치는 스트로크까지이며 이때는 심상과 더불어 자동화된 움직임이 강조되는 운동과제로 구분될 수 있다.

Moore, Gale, Morris, 그리고 Forrester(2006)는 골프퍼팅의 탐색단계와 같은 인지과제를 처리할 때 전전두엽에서 세타파가 발생되는 것을 확인하였다. Matsuoka(1990)의 연구에서도 정신을 복잡하게 만드는 과제에서 전전두엽의 세타파가 높게 나타났다고 보고하였다. 같은 맥락에서 Kerick, Douglass, 그리고 Hatfield(2004)와 Grunwald, Weiss, Krause, Beyer, Rost, Gutberlet, 그리고 Gertz(1999)는 수행단계에서 인지적 노력이 줄어들어 세타파가 유지되거나 감소된다는 것을 확인하였다. 즉, 문제해결이나 지각에 관련된 복잡한 인지과정이 일어날 때 세타파가 증가하며, 몰입상태에서의 자동적 수행이 나타날 때 세타파가 감소하는 것으로 해석될 수 있다(Nigbur, Ivanova, & Sturmer, 2011). 본 연구에서 IM훈련집단의 세타파가 감소한 것으로 보아 이들은 퍼팅 수행단계에서 인지적인 노력보다는 점차 감각적이고 자동화된 움직임을 한 것으로 사료된다. 그러나 Farmer(1995)는 세타파의 활성이 심리적 안정과 신체적 이완을 가져오기 때문에 최상수행을 위해 필수적인 요소라고 주장하였다. Baumeister,

dCollection CAU

Reinecke, Liesen, 그리고 Weiss(2008)는 골프선수들의 퍼팅 중 전두엽에서 높은 세타파가 나타났다고 보고하여 본 연구의 결과와 상반된 의견을 주장하고 있다.

또한 본 연구에서는 IM집단의 우뇌에서 SMR파와 베타파의 유의한 증가를 확인할 수 있었다. 베타파는 높은 각성상태나 스트레스, 불안상태에서 나타날 수 있으나 적절한 베타파는 주의집중과 몰입상태에서도 나타날 수 있다. 특히 SMR파와 중간 베타파는 주로 약간 각성된 주의집중 상태에서 나타나며, 높은 베타파는 긴장감을 포함한 고도의 주의집중 상태에서 나타난다는 것이 확인되었다(Mantini, Perrucci, Del Gratta, Romani, & Corbetta, 2007). 권형규와 조장식(2007)은 SMR파를 비롯한 베타파가 활성화될 때 주의집중 상태에 돌입하게 되어 운동수행과 운동학습이 적절하게 이뤄질 수 있다고 주장하였다.

베타파를 포함한 속파의 증가를 또 다른 관점에서 바라보면 뉴런의 전기적 자극의 진동속도가 증가하여 관련 뇌 영역의 활성화가 나타난 것으로 해석할 수 있다(Youngstedt et al., 1993). McGrew(2013)는 감각-운동통합훈련 중 IM훈련은 두뇌의 시간 해상도와 정보처리 속도의 증가 효과를 가지고 있다고 주장하였다. 즉, IM훈련으로 느린 신경진동이 빠른 신경진동 형태로 변하게 된다는 것이며, 이를 통해 시냅스의 효율성이 높아지는 것이다. 이와 같은 현상이 장기적으로 반복되는 경우 신경가소성이 나타나 타이밍에 관련된 신경기전의 반영구적 변화가 나타날 수 있는 것이다. Etnier와 Landers(1995)는 신체활동이 신경계의 활성화를 일으켜 베타파를 증가하게 했다고 보고하였고, Doyle과 동료들(2005)은 두뇌에서 운동계획과 실행이 이뤄질 때 높은 베타파가 관찰된다고 하였다. Andreassi(2013)는 주의집중과 관련된 두뇌활동에서 뉴런 간 교신이 증가되어 베타파가 증가된다고 하였으며, Nielsen과 Nybo(2003)는 운동과 관련된 집중과 높은 각성이 나타날 때 베타파의 증가가 나타났다고 보고하여, 이들의 주장은 본 연구의 결과를 뒷받침하고 있다.

dCollection CAU

본 연구 결과에서 흥미로운 것은 속파의 증가가 우뇌에서만 나타난 것이다. 이러한 우뇌 속파의 증가는 시공간적 능력과 그림과 같은 형태인지 능력이 향상되었음을 뜻한다(Witelson, 1982). 또 상상력, 감각적, 창의적, 음악적, 무의식적, 그리고 공간적이고 종합적인 병렬적 정보처리기능의 향상으로 해석될 수 있다(윤중수, 1999; Witelson, 1982). 골프수행에서 양쪽 뇌의 균형이 중요하지만 좌뇌의 의식적인 조절기능보다 우뇌의 무의식적인 감각이 더욱 강조된다(Wiren, Coop, Coop, & Sheehan, 1985). Wiren과 동료들(1985)은 골프에서 좌뇌는 경기 상황을 분석하고, 경사도를 확인하며, 클럽을 선택하는 역할을 하며, 우뇌는 심상, 거리감, 촉감과 같은 감각적 부분을 담당하며 동작의 템포와 리듬 즉, 타이밍에 깊이 관여한다고 주장하였다.

숙련된 골퍼의 퍼팅 과정을 살펴보면, 골프공이 굴러갈 진행 방향에 대한 상상으로 운동결과를 예측한다. 많은 선수들은 이 과정에서 심상을 이용한다. 다음 퍼터, 골프볼, 목표지점(홀) 또는 가상목표지점을 일직선상에 위치하도록 한다. 이 때 시각을 통해 공간적인 정보를 받아들이게 된다. 다음 이미 학습된 체성감각과 시각정보를 통해 얻어진 거리정보를 통합하여 동작의 크기와 속도를 결정한다. 최종적으로 골프선수는 시공간적 조화를 가진 움직임을 수행하게 된다. 본 연구에서 나타난 우뇌 변화는 우뇌의 시공간적 능력과 골프기술의 심상에서 우뇌의 활성화를 확인한 선행연구(Shammi & Stuss, 1999; Ross, Tkach, Ruggieri, Lieber, & Lapresto, 2003)의 결과를 지지하고 있다.

2) 주의집중지수의 변화

내부 또는 외부 환경으로부터 간섭과 방해를 받지 않고 주된 과제에 전념할 수 있는 정신력시스템을 주의집중력이라고 정의할 수 있다(McVay & Kane, 2012). 스포츠 수행에 있어 주의집중은 최상수행을 위해 반드시 필

dCollection CAU

요한 능력이다(Beilock, Carr, MacMahon, & Starkes, 2002; Gray, 2009; Jackson, Ashford, & Norsworthy, 2006; Land & Tenenbaum, 2012; Wulf, 2007).

특히 골프의 경우 주의집중은 가장 중요한 인지요소로 알려져 있다(Perkins-Ceccato, Passmore, & Lee, 2003). 본 연구에서는 IM훈련을 골프선수에게 적용하여 나타나는 신경학적 주의집중력의 변화를 확인하였다. 타이밍 훈련을 통한 주의집중력의 변화를 살펴보기 위하여 세타파와 SMR파, 그리고 중간 베타파를 포함한 뇌파를 이용하여 주의집중지수(RSMT)를 분석하였다. 그 결과, IM훈련을 받은 집단의 주의집중지수가 높아진 것을 확인하였다. 이미 여러 선행연구를 통하여 감각-운동 통합 기반의 IM훈련은 주의집중에 효과가 확인된 바 있다. 이와 같은 주의집중지수의 변화는 발달장애 아동을 대상으로 한 감각훈련을 통해 SMR파와 중간 베타파의 활성화와 세타파의 감소로 주의집중력 향상을 확인한 연구(최수희, 2013)와 과학 영재를 대상으로 주의력과 관련된 SMR파, 베타파의 관계를 확인한 연구(권석원, 강민정, 신동훈, 권용주, 2007), 그리고 뇌 호흡 수련을 통해 SMR파와 중간 베타파의 증가를 확인한 연구결과(심준영, 2007)를 통해서도 확인할 수 있다. 본 연구결과를 통해 IM훈련이 골프선수의 주의집중에 긍정적인 영향을 미친 것을 알 수 있다.

Diamond(2003)는 IM훈련 중 사용되는 가이드사운드(Guide sounds)가 과제와 무관한 정보를 배제시키는 능력을 키워 선택적 주의집중에 효과적이라고 제안하였다. 가이드사운드는 기준 메트로놈 리듬에 비해 반응이 빠르면 왼쪽, 늦으면 오른쪽 귀를 통해 타이밍 오차정보를 제공한다. 또 오차정도에 따라 다른 소리를 낸다. 가이드사운드는 반응에 대한 피드백으로 제공되어 리듬행동의 수정을 돕는 목적으로 사용하는 것이지만, 훈련초기에 참여자들은 메트로놈 리듬과 가이드사운드 간 혼란을 겪거나 동작의 질에 주의를 기울일 때 메트로놈 리듬을 놓치는 현상을 겪는다. 반대로 메트로놈 리듬에 과도한 주의를 기울이고 있을 때 동작의 멈춤 현상이 발생하였다.

dCollection CAU

따라서 가이드사운드와 메트로놈 리듬을 구분하기 위해서는 고도의 선택적 주의집중력이 요구된다. 본 연구에서 참여자들은 훈련 중기에 들어서 가이드사운드를 구분하는 능력이 향상되는 모습을 보였다. 이와 같은 향상의 원인은 IM훈련을 통해 선택적 주의집중과 외부 혼란요소의 차단 능력이 발달된 것으로 사료된다. 본 연구의 결과는 IM훈련이 선택적 주의집중에 효과적이라는 Diamond(2003)의 주장을 지지하고 있다.

본 결과의 원인은 브레인타이밍 시스템과 주의집중의 관계에서 확인할 수 있다. IM훈련을 실시할 때 주의집중과 관련된 두뇌영역 간의 교신이 더 효율적으로 작동되어 주의집중에 효과적이라고 보고되었다(Alpiner, 2004). ADHD환자의 경우 브레인타이밍 기전의 불안정한 작동이 확인된다(Ben-Pazi, Shalev, Gross-Tsur, & Bergman, 2006). 동시에 ADHD환자는 운동 타이밍 기술의 어려움을 나타내어 신체적, 신경학적 타이밍과 주의집중의 관계는 좀 더 명확해지고 있다(Toplak, Rucklidge, Hetherington, John, & Tannock, 2003). Koflet, Rapport, Bolden, Sarver, Raiker, 그리고 Alderson(2011)의 연구에서는 ADHD아동에게 IM훈련을 적용한 결과 감각신경과 운동신경의 동기화를 촉진시켜 주의력과 사회성 강화 효과를 나타냈다. 또 다른 연구에서도 IM훈련을 받은 집단이 비디오게임을 한 통제집단보다 주의력, 운동기술, 언어능력 등에 유의한 향상이 나타났음을 확인하였다(Shaffer et al, 2001). 주의집중 능력의 근본적인 신경학적 차이가 있는 ADHD환자뿐만 아니라 일반인을 대상으로 한 타이밍과 주의집중 연구도 실시되었다. Chun, Golomb, 그리고 Turk-Browne(2011)의 연구에 따르면 IM훈련을 통해 정보처리에 관련된 두뇌 영역간의 원활한 교신을 이뤄 작업기억과 선택적 주의력의 향상이 나타날 수 있다고 주장하였다. 이를 토대로 초등학생을 대상으로 IM훈련을 실시한 결과, 정보처리 속도의 증가로 집중과 학습능력이 향상된 것을 확인하였다(Taub, McGrew, & Keith, 2007).

dCollection CAU

3. 퍼팅수행능력 변화

운동수행능력은 매우 다양한 요인의 영향을 받아 결정된다. 특히 골프 퍼팅의 성공여부는 신체와 퍼터의 미세한 움직임과 그린읽기, 거리측정 등 인지적 요인, 그리고 각성조절, 주의집중 등의 심리적 요인이 종합적으로 영향을 미친다. 따라서 골프퍼팅수행능력의 변화 결과를 논의하기 위해서는 기술적, 심리적 요인의 종합적인 논의가 필요하다.

퍼팅수행능력의 변화를 확인하기 위해서는 측정된 퍼팅성향, 퍼팅타이밍, 퍼팅일관성의 세부결과와 의미를 탐색해봐야 한다.

첫째, IM훈련은 퍼팅의 순수한 기술적 측면에 영향을 미치지 않았다. 퍼팅성향은 퍼터 헤드의 조정능력을 종합적으로 점수화한 것이다. Penick(1992)은 수많은 전문선수의 퍼팅을 지도하며 퍼팅의 각도(face angle), 움직임 방향(path)은 개인적인 차이가 있으며, 어떠한 수행이 최상의 수행이라고 이야기할 수 없다고 주장하였다. Penick(1992)은 퍼팅성향은 이미 동작의 자동화가 만들어진 전문선수의 경우 성공적인 퍼팅의 필수요인이 아닐 수 있다고 주장하고 있다. 본 연구결과에서 IM훈련 집단의 변화가 나타나지 않은 이유는, 참여자들은 이미 수없이 반복된 연습을 통해 자동화된 퍼팅수행을 하고 있기 때문에 기본적인 기술에 포함되는 퍼팅성향에는 큰 변화가 나타나지 않은 것으로 사료된다.

둘째, 퍼팅타이밍은 스윙이 지속되는 시간, 마지막 백스윙 지점부터 공이 헤드와 접촉하는 지점까지의 시간, 그리고 백스윙과 포워드스윙의 시간비율을 포함하고 있다. Leadbetter(2007)는 골프 기술에서 다양한 목표거리에 따라 힘의 강도나 스윙크기는 변화하지만 타이밍은 변화하지 않는다고 주장하였다. 골프 숏게임 연구에서도 거리를 조절할 때 힘의 변화는 나타나지만 타이밍의 변화는 나타나지 않았다고 보고하였다(Jagacinski, Kim, & Lavender, 2009). 특히 퍼팅은 다양한 거리에서 퍼팅 타이밍이 변하지 않고 스윙의 크기를 변화시킨다는 연구결과가 보고되고 있다(Delay,

dCollection CAU

Nougier, Orliaguet, & Coello, 1997). 본 연구에서 실시된 IM훈련은 골프 선수들의 퍼팅 타이밍에 긍정적인 효과가 있음을 확인하였다. 이와 같은 결과는 IM훈련을 통해 운동타이밍과 관련이 깊은 소뇌, 대뇌, 기저핵을 연결하는 신경경로의 변화가 타이밍에 영향을 미친 것이며, 운동타이밍 능력이 골프기술의 퍼팅타이밍 능력에 전이된 것으로 사료된다. 이는 반복적인 IM훈련을 통해 두뇌에서 리듬과제와 연관된 영역이 강화되어 근본적인 타이밍 능력이 향상되었다는 것이다. 또 IM훈련을 받은 집단은 본 훈련을 통해 리듬에 근거한 움직임을 실행하는 동시에 정보처리 능력이 강화되어 기술적 수행이 아닌 감각적 수행을 실시한 것으로 예상된다.

셋째, 퍼팅일관성(Consistency)은 퍼팅성향과 퍼팅타이밍에서 기록된 28가지 측정변인의 반복된 일치를 말한다. 본 연구에서 IM훈련은 퍼팅 일관성에 직접적인 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다. 전문선수들의 경우 이미 퍼팅성향은 자동화되어 큰 변화를 보이지 않는다. 일관성 역시 수없이 반복된 연습을 통해 이미 골프기술이 자동화되어 일관된 수행을 하고 있기 때문에 큰 변화가 나타나지 않는 것으로 사료된다.

마지막으로, 종합적인 퍼팅수행능력의 변화를 확인하기 위하여 위에서 제시된 퍼팅성향, 퍼팅타이밍, 퍼팅일관성을 기준으로 산출된 퍼팅 기술수행능력 종합점수의 변화를 확인하였다. 또 실제 퍼팅 수행능력을 확인하기 위하여 퍼팅그린에서 실시된 퍼팅 현장수행능력의 변화를 확인하였다. 그 결과, IM훈련은 퍼팅 기술수행능력과 퍼팅 현장수행능력 향상에 모두 효과적인 것으로 밝혀졌다. 본 연구에서 실시된 IM훈련이 퍼팅수행능력 향상을 일으킨 주된 요인은 뇌파의 변화, 주의집중 향상으로 정리할 수 있다.

첫째 요인으로 뇌파의 변화가 갖는 퍼팅수행능력 향상의 의미를 살펴볼 수 있다. 뇌파와 퍼팅수행의 관계에 관한 선행연구(Babiloni et al., 2008)의 결과에 따르면 알파파 이하 서파의 활동전위가 나타날 때 골프퍼팅수행이 좋아졌다고 보고되었다. 그러나 본 연구에서 서파 중 세타파의 유의한 감소가 발견되었고 SMR파, 중간 베타파, 높은 베타파의 활동전위의 증가가

dCollection CAU

나타났으며, 동시에 전반적인 퍼팅수행능력이 향상된 것으로 나타났다. 본 연구결과는 세타파의 감소가 퍼팅수행능력에 긍정적인 영향을 미친 결과를 보고한 Kao, Huang, 그리고 Hung(2013)의 연구결과를 지지하고 있다. 이준우, 최봉암, 정채원(2012)의 연구에서는 우수선수의 세타파와 베타파가 비우수선수보다 높게 나타났다고 보고하여 본 연구결과와 일부 일치했다.

둘째 요인은 정보처리의 효율성이 높아짐에 따라 나타나는 주의집중력의 변화가 퍼팅수행능력 향상의 원인이 되었다고 사료된다. Poolton, Masters, 그리고 Maxwell(2005)은 골프퍼팅과제에서 작업기억 처리과정에 부하가 늘어날 경우 정보처리능력을 감소시켜 운동수행에 방해가 되며 적절한 운동계획과 감각정보처리는 성공적인 운동수행에 결정적인 역할을 한다고 보고했다. Newport, Hindle, 그리고 Jackson(2001)은 퍼팅동작 중 신체 움직임과 골프클럽 헤드의 움직임에 대한 시각적 지각은 주의집중에 방해가 되는 요소이며, 이러한 정신적 산만은 퍼팅수행에 악영향을 미친다고 보고하였다.

본 연구에서 시행된 IM훈련은 중추신경계 회로의 효율성과 조직을 증가시킬 수 있으며 뇌의 신호처리가 더 효율적이고 일관된 형태로 만들고(Diamond, 2003), 신경 축 내부의 정보처리 속도를 증대시키며, 정보처리의 병목현상에서 인지효율을 증가시키는 효과를 가지고 있다(Gorman, 2003). Barrett, Tugade, 그리고 Engle(2004)은 브레인타이밍이 정보처리 속도와 작업기억의 폭과 관련되어 주의집중력과 연관된다고 주장하였다. 주의집중력에 문제가 있는 경우 운동계획 및 처리능력과 더불어 타이밍과 같은 넓은 의미의 표상에 영향을 미치기 때문에 수행과의 관련성을 부인할 수 없다. 주의집중과 같은 인지기능이 운동수행 향상에 영향을 미친다는 연구(김은주, 2010; Monastra, 2005)와 운동을 통해 인지기능이 향상된다는 연구(고지현, 김선진, 한동욱, 2009; 이서기, 김은숙, 김성옥, 2009)가 함께 보고되어 본 연구의 결과를 지지하고 있다. 또 주의집중지수(RSMT)의 긍정적인 변화가 태권도 수행에 긍정적인 영향을 미쳤다는 연구(박기용, 유연

dCollection CAU

호, & 김현준, 2012)와 주의집중력 향상 프로그램 적용이 학습능력과 행동양식의 변화를 일으킨다는 선행연구의 결과는 본 연구의 결과와 같은 맥락이다.

전문골프선수들은 이미 높은 퍼팅수행 능력을 가지고 있으나 시합상황에서 평소와 다른 고각성과 긴장상태에서는 빈번한 실수가 나타난다. 본 연구에서 나타난 고차원 인지능력의 변화는 전문골프선수들이 불안정한 심리상태에서도 성공적인 퍼팅 수행을 하는데 도움을 될 수 있을 것으로 사료된다.

dCollection CAU

VI. 결론 및 제언

1. 결론

본 연구는 현장실험 연구를 통해 IM훈련이 골프선수의 운동타이밍과 퍼팅수행 중 뇌파의 변화와 퍼팅수행능력에 미치는 영향을 확인하였다. 훈련 여부에 따라 IM집단과 통제집단으로 구분하였고, 훈련 시기에 따라 총 3번(사전, 중간, 사후)의 측정이 이뤄졌다. 뇌파는 퍼팅과제 수행 중 측정하였고 퍼팅수행검사는 객관적 기술수행능력과 현장수행능력을 검사하였다. 연구결과에 대한 이론적 고찰을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 운동타이밍

IM훈련은 운동타이밍 중 비조정성 타이밍(Unadjusted)과 양측성 타이밍(Bilateral), 조정성 타이밍(Adjusted)의 오차감소에 모두 효과적이었다. 이와 같은 결과를 통해 본 연구에서 IM훈련과정이 운동타이밍 정확성 향상에 효과적이며 본 연구의 중재기법으로 타당하다는 것을 확인하였다.

2) 뇌파와 주의집중력

IM훈련은 좌, 우측 전전두엽 세타파 상대파워 값의 유의한 감소를 일으켰으며, 우측 전전두엽 SMR파, 중간 베타파, 높은 베타파의 유의한 증가를 일으켰다. 반면 좌측 전전두엽의 SMR파, 중간 베타파, 높은 베타파에는 시기에 따른 변화와 집단 간 차이가 나타나지 않았다.

IM훈련은 주의집중지수(SMR + Mid-Beta / Theta)를 증가시키는 결과를 보였다. 이와 같은 결과를 통해 IM훈련은 주의집중능력 향상에 효과적이라는 결론을 얻을 수 있었다.

dCollection CAU

3) 퍼팅수행능력

퍼팅수행능력 검사결과를 종합하여 얻을 수 있는 결론은 IM훈련은 퍼팅 성향에는 영향을 미치지 않으나 퍼팅타이밍과 퍼팅일관성을 향상시켰다는 것이다. 또한 IM훈련 효과를 통해 실제 그린에서의 퍼팅성공률이 증가된 것을 확인하였다.

dCollection CAU

2. 제언

본 연구의 참여자는 골프기술이 숙련된 34명의 골프선수였다. 이들을 대상으로 반복된 메트로놈 리듬의 자극을 주고 다음 자극을 예측해서 반응타이밍을 수정하거나 타이밍 오차에 대한 시청각 피드백 또는 청각피드백을 통하여 타이밍 오차를 수정하는 IM훈련을 진행하였다. 참여자의 운동타이밍 능력과 뇌파, 퍼팅수행능력을 종속변인으로 삼아 훈련 시작 전 사전검사, IM훈련 6회기 후 중간검사, IM훈련 12회기 후 사후검사로 총 3회 측정, 분석하였다. 그 결과, IM훈련의 긍정적인 효과를 확인할 수 있었다. 본 연구의 제한점을 고려하여 앞으로의 발전적인 연구 설계를 위해 다음과 같이 제언한다.

1) 종목의 다양화 및 프로그램 개발

본 연구의 참여자는 전문골프선수였으며 골프동작에 특화된 IM훈련을 받았다. 운동타이밍 특성은 숙련도와 연령에 따라 차이가 나타날 수 있지만 (Jagacinski, Kim, & Lavender, 2009) 본 연구에서는 이미 골프기술이 숙련되고 자동화된 선수들로만 참여자가 구성되어 숙련도에 따른 차이를 확인할 수 없었다. 따라서 추후 연구에서는 숙련도, 연령, 성별 등의 다양한 특성을 고려하여 비교하면 보다 의미있는 결과가 나타날 것으로 사료된다. 또 다양한 스포츠에서 IM훈련의 적용을 위해 보다 많은 종목과 기술을 통한 검증이 요구된다. 이 때 각 종목에 특화된 훈련 동작을 개발하여 추가한다면 훈련 중 나타나는 동기저하 및 탈락현상을 방지하는데 도움이 될 것이다.

dCollection CAU

2) 다양한 형태의 훈련장비 비교

IM은 훈련 중 각각의 수행에 대한 타이밍오차를 제공한다. 타이밍오차는 시청각 피드백 방식으로 제공되며 이러한 시청각 피드백의 기능과 효과를 확인하기 위해 어떠한 피드백도 제공되지 않는 일반 메트로놈과의 비교가 요구된다. 또 교습현장에서 흔히 사용되는 스마트폰 기반의 메트로놈이나 휴대용 메트로놈의 효과를 검증하는 것은 보다 현장적용이 용이하고 효율적인 브레인타이밍 훈련방법을 찾는데 도움이 될 것이다. 또한 전통적인 브레인타이밍 훈련 방법 중 신경학적 음악치료의 리듬청각자극훈련(rhythmic auditory stimulation)(Thaut, McIntosh, Rice, Miller, Rathbun, & Brault, 1996)과의 비교 역시 의미 있는 연구가 될 것이다.

3) 신경학적 검사를 통한 연구

본 연구에서는 운동수행 중 뇌파를 측정하기 위하여 2채널 뇌파측정기를 이용하여 전전두엽의 뇌파 활성도를 확인하였다. 각 두뇌영역은 대표적인 기능을 가지고 있으나 각 영역 간 회로를 구성하여 활성화된다. 따라서 단일 두뇌 영역의 고찰보다 두뇌의 전반적인 영역의 변화와 특성을 연구하고 운동 수행 중 각 두뇌영역 간 교신을 확인할 필요가 있다. 이와 같은 연구를 통해 운동기술에서 발생되는 신경망을 확인할 수 있으며, 다양한 두뇌영역의 뇌파측정을 통한 두뇌지도화(brain mapping)가 가능하게 된다. 그리고 대뇌피질을 통한 뇌파 측정은 소뇌와 기저핵 등의 활성을 직접적으로 확인할 수 없으며, 백질신경로의 신경망을 관찰할 수 없다. 후속연구에서는 첨단측정기술을 통한 IM훈련으로 두뇌의 구조적, 해부학적 변화와 운동수행 중 두뇌 여러 영역의 활성화, 신경망의 활성화와 같은 기능적 변화의 관찰이 이뤄지기를 기대한다.

dCollection CAU

4) 수행능력측정

본 연구에서는 골프 퍼팅수행능력 중 퍼팅 기술수행능력은 초음파센서를 이용한 측정 장비를 활용하였으며 28개의 변인에 대한 객관적인 자료를 수집할 수 있었다. 그러나 본 연구에서 사용된 데이터는 종합적인 점수로 퍼팅성향, 퍼팅타이밍, 퍼팅일관성, 퍼팅종합점수만 분석에 사용되었다. 퍼팅은 아주 섬세하고 미세한 움직임을 통해 수행의 성공 여부가 결정되는 기술이다. 따라서 퍼팅 기술수행능력을 측정함에 있어서 운동학적 상세 변인에 대한 측정과 분석이 요구된다. 추후 퍼팅연구에서는 임팩트 위치, 백스윙 속도, 포워드스윙 속도, 클럽헤드의 궤적과 더불어 손목, 머리의 움직임 등의 측정결과를 활용할 필요가 있다.

Pelz(2000)의 50-Ball test를 통해 골프 퍼팅수행능력 중 퍼팅 현장수행능력을 확인하였다. 50번 퍼팅 시도로 나타나는 집중력의 변화를 통해 시합현장과 유사한 상태로 평가되는 측정방법이다. 그러나 실제 시합에서 느끼는 심리적 압박감을 재현하기에는 무리가 있었으며 실험기간이 7월 ~ 9월로 더운 날씨에 실외에서 시행되어 참여자의 적극적 참여가 어렵다는 문제가 발생하였다. 그리고 최대거리가 5m로 보다 긴 퍼트의 검증이 실시되지 않았다. 추후 연구에서는 보다 다양한 거리의 퍼팅수행능력을 확인할 필요가 있다.

dCollection CAU

참고문헌

고지현, 김선진, 한동욱 (2009). 골프퍼팅 난이도에 따른 자기통제 피드백의 효과. **한국스포츠심리학회지, 20**(3), 233-245.

권석원, 강민정, 신동훈, 권용주 (2007). 초등학교 과학 영재아의 뇌파 기반 변별 척도 개발. **초등과학교육, 25**(5), 556-566.

권형규, 조장식 (2007). SMR 뇌파 활성도 분석을 통한 뇌기능분화에 관한 연구. **한국자료분석학회지, 9**(6), 2717-2727.

김선진, 김수연 (2011). 숙련도에 따른 표현 동작 타이밍과 사지 협응 형태의 변화. **한국스포츠심리학회지, 22**(2), 111-121.

김용진, 김학현, 박재근, 채희경, 박미아, 강경미, 조선희, 민윤기, 장남기 (2000). 문제풀이 활동에서 뇌파 측정에 의한 두뇌 기능 상태의 평가. **생물교육 (구 생물교육학회지), 28**(3), 291-301.

김은주 (2010). 자기주도학습능력 향상을 위한 뇌교육 프로그램 개발 연구. **청소년학연구, 17**(10), 161-188.

김창욱 (2004). 골프스윙시 기술수준에 따른 신체분절의 Kinematic sequence 분석. **한국사회체육학회지, 22**, 415-427.

김태훈 (2014). 상하체간 협응 과정에서 나타나는 불변적 특징. **인문논총, 34**(단일호), 121-135.

박기용, 유연호, 김현준. (2012). 뇌파훈련이 지적장애인의 운동수행능력에 미치는 영향. **한국특수체육학회지, 20**(1), 111-122.

박동진, 한동욱, 김용운. (2011). 결과지식 수준과 신체 및 관찰연습이 타이밍 학습에 미치는 영향. **한국스포츠심리학회지, 22**(3), 141-152.

박성진 (2008). 프로골프선수와 대학 아마추어 골프 선수의 스윙템포 및 헤드스피드 비교 연구. **한국체육과학회지, 17**(2), 1055-1062.

dCollection CAU

박진 (2000). 골프 퍼팅 스트로크의 구간별 소요시간 분석. **한국운동역학회지, 9**(2), 187-193.

심준영 (2007). 뇌호흡 수련 여성노인의 생활만족 및 도형구분과제 수행시 활성뇌파의 변화. **한국스포츠심리학회지, 18**(2), 31-44.

윤중수 (1999). **뇌파학개론**. 서울: 고려의학.

이서기, 김은숙, 김성옥 (2009). 우수양궁 선수의 심상특성에 관한 질적분석. **한국스포츠심리학회지, 20**(3), 155-166.

최수희 (2013). **시지각훈련과 청지각훈련이 발달장애 아동의 주의집중력에 미치는 영향**. 미간행 박사학위논문, 서남대학교.

한동욱 (2010). 자기통제 결과지식을 통한 시간타이밍 학습의 효과적인 연습구조 모색. **한국체육학회지-인문사회과학, 49**(6), 271-280.

Alexander, D. L., & Kern, W. (2005). Drive for show and putt for dough? An analysis of the earnings of PGA Tour golfers. *Journal of Sports Economics*, *6*(1), 46-60.

Alpiner, N. (2004). The role of functional MRI in defining auditory-motor processing networks. In *White paper presented at 65 th Annual American Physical Medicine and Rehabilitation Conference, Phoenix, AZ*.

Andreassi, J. L. (2013). *Psychophysiology: Human behavior & physiological response.* Mahwah, NJ: Psychology Press.

Aschersleben, G. (2000). *Knowledge of results and the timing of actions*. Munich: Max Planck Institute for Psychological Research.

Azari, N. P., & Seitz, R. J. (2000). Brain plasticity and recovery from stroke. *American Scientist*, *88*, 426.

dCollection CAU

Babiloni, C., Del Percio, C., Iacoboni, M., Infarinato, F., Lizio, R., Marzano, N., Crespi, G., Dassu, F., Pirritano, M., Gallamini, M., & Eusebi, F. (2008). Golf putt outcomes are predicted by sensorimotor cerebral EEG rhythms. *The Journal of Physiology, 586*(1), 131-139.

Bao, S., Chan, V. T., & Merzenich, M. M. (2001). Cortical remodelling induced by activity of ventral tegmental dopamine neurons. *Nature, 412*, 79-83.

Barmack, N. H. (2003). Central vestibular system: vestibular nuclei and posterior cerebellum. *Brain Research Bulletin, 60*(5), 511-541.

Barrett, L. F., Tugade, M. M., & Engle, R. (2004). Individual differences in working memory capacity and dual-process theories of the mind. *Psychological Bulletin, 130*(4), 553-573.

Bartscherer M. L., & Dole, R. L. (2005). Interactive metronome® training for a 9-year-old boy with attention and motor coordination difficulties. *Physiotherapy Theory and Practice, 21,* 257-269.

Baumeister, J., Reinecke, K., Liesen, H., & Weiss, M. (2008). Cortical activity of skilled performance in a complex sports related motor task. *European Journal of Applied Physiology*, *104*(4), 625-631.

Beak, S. H., Choi, A., Choi, S. W., Oh, S. E., Mun, J. H., Yang, H., & Song, H. R. (2013). Upper torso and pelvis linear velocity during the downswing of elite golfers. *Biomedical Engineering Online,* 12-13.

dCollection CAU

Beckelhimer, S. C., Dalton, A. E., Richter, C. A., Hermann, V., & Page, S. J. (2011). Computer-based rhythm and timing training in severe, stroke-induced arm hemiparesis. *American Journal of Occupational Therapy*, *65*(1), 96-100.

Beilock, S. L., Carr, T. H., MacMahon, C., & Starkes, J. L. (2002). When paying attention becomes counterproductive: impact of divided versus skill-focused attention on novice and experienced performance of sensorimotor skills. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *8*(1), 6.

Bengtsson, S. L., Ullén, F., Ehrsson, H. H., Hashimoto, T., Kito, T., Naito, E., Forssberg & Sadato, N. (2009). Listening to rhythms activates motor and premotor cortices. *Cortex*, *45*(1), 62-71.

Ben-Pazi, H., Shalev, R. S., Gross-Tsur, V., & Bergman, H. (2006). Age and medication effects on rhythmic responses in ADHD: Possible oscillatory mechanisms?. *Neuropsychologia, 44*(3), 412-416.

Bressler, S. L., & Menon, V. (2010). Large-scale brain networks in cognition: emerging methods and principles. *Trends in Cognitive Sciences*, *14*(6), 277-290.

Buckner, R. L., Andrews-Hanna, J. R., & Schacter, D. L. (2008). The brain's default network. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1124*(1), 1-38.

Buekers, M., Pauwels, J., & Meugens, P. (1988). Temporal and spatial anticipation in twelve-year-old boys and girls. *Advances in Psychology, 55*, 283-292.

dCollection CAU

Buhusi, C. V., & Meck, W. H. (2005). What makes us tick? Functional and neural mechanisms of interval timing. *Nature Reviews Neuroscience*, *6*(10), 755-765.

Buonomano, D. V., & Karmarkar, U. R. (2002). How do we tell time? *Neuroscientist*, 8, 42-51.

Buonomano, D. V., & Laje, R. (2010). Population clocks: motor timing with neural dynamics, *Trends in Cognitive Sciences, 14*, 521-527.

Burgener, S. C., Buettner, L. L., Beattie, E., & Rose, K. M. (2009). Effectiveness of community-based, nonpharmacological interventions for early-stage dementia: conclusions and recommendations. *Journal of Gerontological Nursing*, *35*(3), 50-57.

Bush, G. (2010). Attention-deficit/hyperactivity disorder and attention networks. *Neuropsychopharmacology*, *35*(1), 278-300.

Callaway, S., Glaws, K., Mitchell, M., Scerbo, H., Voight, M., & Sells, P. (2012). An analysis of peak pelvis rotation speed, gluteus maximus and medius strength in high versus low handicap golfers during the golf swing. *International Journal of Sports Physical Therapy, 7*(3), 288.

Casper, S., Zilles, K., Laird, A. R., & Eickhoff, S. B. (2010). ALE meta-analysis of action observation and imitation in the human brain. *Neuroimage 50,* 1148-1167.

Chuderski, A., & Necka, E. (2012). The contribution of working memory to fluid reasoning: Capacity, control, or both?. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and*

dCollection CAU

Cognition, *38*(6), 1689.

Chun, M. M., Golomb, J. D., & Turk-Browne, N. B. (2011). A taxonomy of external and internal attention. *Annual Review of Psychology*, *62*, 73-101.

Classen, J., Liepert, J., Wise, S. P., Hallett, M., & Cohen, L. G. (1998). Rapid plasticity of human cortical movement representation induced by practice. *Journal of Neurophysiology*, *79*(2), 1117-1123.

Colom, R., Haier, R. J., Head, K., Álvarez-Linera, J., Quiroga, M. Á., Shih, P. C., & Jung, R. E. (2009). Gray matter correlates of fluid, crystallized, and spatial intelligence: Testing the P-FIT model. *Intelligence*, *37*(2), 124-135.

Coss, R. G., Brandon, J. G., & Globus, A. (1980). Changes in morphology of dendritic spines on honeybee calycal interneurons associated with cumulative nursing and foraging experiences. *Brain Research*, *192*(1), 49-59.

Davids, K., Lees, A., & Burwitz, L. (2000). Understanding and measuring coordination and control in soccer skills: Implications for talent identification and skill acquisition. *Journal of Sports Sciences, 18,* 703-714.

Deary, I. J. (2012). Intelligence. *Annual Review of Psychology*, (63), 453-482.

Deary, I. J., Penke, L., & Johnson, W. (2010). The neuroscience of human intelligence differences. *Nature Reviews Neuroscience*, *11*(3), 201-211.

Debaere, F., Swinnen, S. P., Béatse, E., Sunaert, S., Van Hecke, P., & Duysens, J. (2001). Brain areas involved in interlimb

dCollection CAU

coordination: a distributed network. *Neuroimage, 14*(5), 947-958.

Delay, D., Nougier, V., Orliaguet, J. P., & Coello, Y. (1997). Movement control in golf putting. *Human Movement Science*, *16*(5), 597-619.

Diamond, S. J. (2003) *Processing speed and motor planning: the scientific background to the skills trained by Interactive Metronome technology*. Available from URL http://www.interactivemetronome.com/IMPublic/Research.aspx.

Doppelmayr, M., & Weber, E. (2011). Effects of SMR and theta/beta neurofeedback on reaction times, spatial abilities, and creativity. *Journal of Neurotherapy, 15*(2), 115-129.

Doyle, L. M., Yarrow, K., & Brown, P. (2005). Lateralization of event-related beta desynchronization in the EEG during pre-cued reaction time tasks. *Clinical Neurophysiology, 116*(8), 1879-1888.

Egret, C. I., Vincent, O., Weber, J., Dujardin, F. H., and Chollet, D. (2003). Analysis of 3D kinematics concerning three different clubs in golf swing. *International Journal of Sports Medicine, 24,* 465-470.

Etnier, J. L., & Landers, D. M. (1995). Brain function and exercise. *Sports Med, 19*, 81-85.

Etra, J. L. (2006). *The Effect of Interactive Metronome Training on Children's SCAN-C Scores.* Doctoral dissertation, Nova Southeastern University.

dCollection CAU

Ferdinands, E., Kersting, U., Marshall, R. (2013). Kinematic and kinetic energy analysis of segmental sequencing in cricket fast bowling. *Sports Technology*, 6, 10-21.

Feydy, A., Carlier, R., Roby-Brami, A., Bussel, B., Cazalis, F., Pierot, L., Burnod, Y., & Maier, M. A. (2002). Longitudinal study of motor recovery after stroke recruitment and focusing of brain activation. *Stroke*, *33*(6), 1610-1617.

Fornito, A., Harrison, B. J., Zalesky, A., & Simons, J. S. (2012). Competitive and cooperative dynamics of large-scale brain functional networks supporting recollection. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *109*(31), 12788-12793.

Galvan, V., & Bredesen, D. E. (2007). Neurogenesis in the adult brain: implications for Alzheimer's disease. *CNS & Neurological Disorders-Drug Targets (Formerly Current Drug Targets-CNS & Neurological Disorders)*, *6*(5), 303-310.

Gevins, A., Le, J., Martin, N. K., Brickett, P., Desmond, J., & Reutter, B. (1994). High resolution EEG: 124-channel recording, spatial deblurring and MRI integration methods. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *90*(5), 337-358.

Gorman, P. (2003) *Interactive Metronome: Underlaying neurocognitive correlates of effectiveness*. Available from URL http://www.interactivemetronome.com/IMPublic/Research.aspx [Accessed December 4 2008].

Gray, R. (2009). How do batters use visual, auditory, and tactile information about the success of a baseball swing? *Research Quarterly for Exercise and Sport, 80*, 491-501.

dCollection CAU

Greenspan, S. I. (1998). *The growth of the mind: And the endangered origins of intelligence*. Boston: Addison-Wesley Pub.

Grober, R., & Cholewicki, J. (2008). "Towards a biomechanical understanding of tempo in the golf swing", in *Science and Golf V: Proceedings of the World Scientific Congress of Golf*, eds. D. Crews & R. Lutz (Tempe, Arizona: Ironwood Lithographers), 74-81.

Grunwald, M., Weiss, T., Krause, W., Beyer, L., Rost, R., Gutberlet, I., &Gertz, H. J. (1999). Power of theta waves in the EEG of human subjects increases during recall of haptic information. *Neuroscience Letters, 260*(3), 189-192.

Hall, M. D., & Blasko, D. G. (2005). Attentional interference in judgments of musical timbre: Individual differences in working memory. *The Journal of General Psychology*, *132*(1), 94-112.

Harrington, D. L., Lee, R. R., Boyd, L. A., Rapcsak, S. Z., & Knight, R. T. (2004). Does the representation of time depend on the cerebellum? Effect of cerebellar stroke. *Brain, 127*, 561-574.

Hebb, D. O. (2005). *The organizati*on of behavior: A neuropsychological approach. Mahwah, NJ: Psychology Press.

Henderson, R. (2010). *The effect of Interactive Metronome training on sports confidence and putting performance.* Doctoral dissertation, California State University, Long Beach.

dCollection CAU

Horan, S. A, & Kavanagh, J. J. (2012). The control of upper body segment speed and velocity during the golf swing. *Sports Biomechanics, 11*, 165-174.

Hunt, E. (2011). *Human intelligence.* Cambridge, NY: Cambridge University Press. 73

Ilg, W., Giese, M. A., Gizewski, E. R., Schoch, B., & Timmann, D. (2008). The influence of focal cerebellar lesions on the control and adaptation of gait. *Brain*, *131*(11), 2913-2927.

Ilg, W., Golla, H., Thier, P., & Giese, M. A. (2007). Specific influences of cerebellar dysfunctions on gait. *Brain*, *130*(3), 786-798.

Imfeld, A., Oechslin, M. S., Meyer, M., Loenneker, T. & Jancke, L. (2009). White matter plasticity in the corticospinal tract of musicians: a diffusion tensor imaging study. *Neuroimage, 46,* 600-607.

Ivry, R. B. & Keele, S. W. (1989). Tirning functions of the cerebellum. *Journal of Cognitive Neuroscience, 1,* 136-152.

Ivry, R. B., & Richardson, T. C. (2002). Temporal control and coordination: the multiple timer model. *Brain and Cognition*, *48*(1), 117-132.

Ivry, R. B., & Schlerf, J. E. (2008). Dedicated and intrinsic models of time perception. *Trends in Cognitive Sciences, 12*, 273-280.

Jackson, R. C., Ashford, K., & Norsworthy, G. (2006). Attentional focus, dispositional reinvestment, and skilled motor performance under pressure. *Journal of Sport & Exercise Psychology, 28*.

dCollection CAU

Jacobs, B., & Scheibel, A. B. (1993). A quantitative dendritic analysis of Wernicke's area in humans. I. Lifespan changes. *Journal of Comparative Neurology*, *327*(1), 83-96.

Jagacinski, R. J., Kim, T. H., & Lavender, S. A. (2009). Managing the rhythmic complexity of hitting a golf ball. *Journal of Motor Behavior, 41*(5), 469-477.

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.

Jensen, A. R. (2006). *Clocking the mind: Mental chronometry and individual differences*. Oxford, UK: Elsevier.

Kao, S. C., Huang, C. J., & Hung, T. M. (2013). Frontal midline theta is a specific indicator of optimal attentional engagement during skilled putting performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 35*, 470-478.

Karageorghis, C. I., & Terry, P. C. (2001). The magic of music in movement. *Sport and Medicine Today, 5*, 38-41.

Karlsen, J., Smith, G., & Nilsson, J. (2008). The stroke has only a minor influence on direction consistency in golf putting among elite players. *Journal of Sports Sciences*, *26*(3), 243-250.

Karmarkar, U. R., & Buonomano, D. V. (2007). Timing in the absence of clocks: encoding time in neural network states. *Neuron*, *53*(3), 427-438.

Karni, A., Meyer, G., Rey-Hipolito, C., Jezzard, P., Adams, M. M., Turner, R., & Ungerleider, L. G. (1998). The acquisition of

dCollection CAU

skilled motor performance: fast and slow experience-driven changes in primary motor cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *95*(3), 861-868.

Keramidas, P., Patsiaouras, A., Papanikolaou, Z., & Nikolaidis, D. (2004). The effect of music on learning soccer skills. *Journal of Sport Sciences, 22*, 569-569.

Kerick, S. E., Douglass, L. W., & Hatfield, B. D. (2004). Cerebral cortical adaptations associated with visuomotor practice. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 36*(1), 118-129.

Kim, J. H., Han, J. K., Kim, B. N., & Han, D. H. (2015). Brain networks governing the golf swing in professional golfers. *Journal of Sports Sciences, 33*(19), 1980-1987.

Kim, T., Jagacinski, R. J., & Lavender, S. A. (2011). Age-related differences in the rhythmic structure of the golf swing. *Journal of Motor Behavior, 43*, 433-444.

Kofler, M. J., Rapport, M. D., Bolden, J., Sarver, D. E., Raiker, J. S., & Alderson, R. M. (2011). Working memory deficits and social problems in children with ADHD. *Journal of Abnormal Child Psychology, 39*(6), 805-817.

Koomar, J., Burpee, J. D., DeJean, V., Frick, S., Kawar, M. J., & Fischer, D. M. (2001). Theoretical and clinical perspectives on the Interactive Metronome: a view from occupational therapy practice. *The American Journal of Occupational therapy: official publication of the American Occupational Therapy Association*, *55*(2), 163.

dCollection CAU

Kuhlman, K., & Schweinhart, L. J. (1999). Timing in child development. *Ypsilanti, MI: High Scope Educational Research Foundation*.

Land, W., & Tenenbaum, G. (2012). An outcome-and process-oriented examination of a golf-specific secondary task strategy to prevent choking under pressure. *Journal of Applied Sport Psychology*, *24*(3), 303-322.

Leadbetter, D.(2007). Stare it Down from 100 Yards, *Golf Digest Sep, 58*(9), 92-98.

Leisman, G., & Melillo, R. (2010). Effects of motor sequence training on attentional performance in ADHD children. *International Journal on Disability and Human Development*, *9*(4), 275-282.

Lewis, P. A., & Miall, R. C. (2006). Remembering the time: a continuous clock. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*(9), 401-406.

Lewis, P. A., & Walsh, V. (2005). Time perception: components of the brain's clock. *Current Biology*, *15*(10), R389-R391.

Lewis, P. A., Wing, A. M., Pope, P. A., Praamstra, P., & Miall, R. C. (2004). Brain activity correlates differentially with increasing temporal complexity of rhythms during initialisation, synchronisation, and continuation phases of paced finger tapping. *Neuropsychologia*, *42*(10), 1301-1312.

Li, G. Z., Zhong, D., Yang, L. M., Sn, B., Zhong, Z. H., Yin, Y. H., Cheng, J., Yan, B. B & Li, H. L. (2005). Expression of Interleukin-17 in Ischemic Brain Tissue. *Scandinavian Journal of Immunology*, *62*(5), 481-486.

dCollection CAU

Libkuman, T. M., Otani, H., & Steger, N. (2002). Training in timing improves accuracy in golf. *The Journal of General Psychology*, *129*(1), 77-96.

Lubar, J. F., Swartwood, M. O., Swartwood, J. N., & O'Donnell, P. H. (1995). Evaluation of the effectiveness of EEG neurofeedback training for ADHD in a clinical setting as measured by changes in TOVA scores, behavioral ratings, and WISC-R performance. *Biofeedback and Self-regulation, 20*(1), 83-99.

Malcolm, M. P., Massie, C., & Thaut, M. (2009). Rhythmic auditory-motor entrainment improves hemiparetic arm kinematics during reaching movements: A pilot study. *Topics in Stroke Rehabilitation*, *16*, 69-79. doi:10.1310/tsr1601-69 76

Mantini, D., Perrucci, M. G., Del Gratta, C., Romani, G. L., & Corbetta, M. (2007). Electrophysiological signatures of resting state networks in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*(32), 13170-13175.

Marquardt, C. (2007). The SAM Puttlab: Concept and PGA tour data. *International Journal of Sports Science and Coaching*, *2*, 101-120.

Matsuoka, S. (1990). Theta rhythms: state of consciousness. *Brain Topography, 3*(1), 203-208.

Mauk, M. D. & Buonomano, D. V. (2004). The neural basis of temporal processing. *Annual Review of Neuroscience, 27*, 307-340.

dCollection CAU

Mauk, M. D., Medina, J. F., Nores, W. L., & Ohyama, T. (2000). Cerebellar function: Coordination, learning or timing? *Current Biology,* 10, 522-525.

McFarland, D. J., & Wolpaw, J. R. (2005). Sensorimotor rhythm-based brain-computer interface (BCI): feature selection by regression improves performance. *Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on*, *13*(3), 372-379.

McGrew, K. S. (2013). The science behind interactive metronome: An integration of brain clock, temporal processing, brain network and neurocognitive research and theory. *The MindHubTM Pub: 2*, 3-3, v1.1, 1-43.

McVay, J. C., & Kane, M. J. (2012). Drifting from slow to "D' oh!": Working memory capacity and mind wandering predict extreme reaction times and executive control errors. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 38*, 525-549.

Meegan, D. V., Aslin, R. N., & Jacobs, R. A. (2000). Motor timing learned without motor training. *Nature of Neuroscience, 3*, 860-862.

Menon, V. (2011). Large-scale brain networks and psychopathology: a unifying triple network model. *Trends in Cognitive Sciences*, *15*(10), 483-506.

Miyake, Y., Onishi, Y., & Pöppel, E. (2004). Two types of anticipation in synchronization tapping. *Acta Neurobiologiae Experimentalis, 64*, 415-426.

dCollection CAU

Monastra, V. J. (2005). Electroencephalographic biofeedback (neurotherapy) as a treatment for attention deficit hyperactivity disorder: rationale and empirical foundation. *Child and Adolescent Psychiatric Clinics of North America*, *14*(1), 55-82.

Moore, R. A., Gale, A., Morris, P. H., &Forrester, D. (2006). Theta phase locking across the neocortex reflects cortico-hippocampal recursive communication during goal conflict resolution. *International Journal of Psychophysiology, 60*(3), 260-273.

Morton, S. M., & Bastian, A. J. (2004). Cerebellar control of balance and locomotion. *The Neuroscientist*, *10*(3), 247-259.

Mostofsky, S. H., Powell, S. K., Simmonds, D. J., Goldberg, M. C., Caffo, B., & Pekar, J. J. (2009). Decreased connectivity and cerebellar activity in autism during motor task performance. *Brain*, 88.

Neal, R. J., Lumsden, R. G., Holland, M., & Mason, B. (2008). Segment interactions: Sequencing and timing in the downswing. In D. Crews & R. Lutz (eds.), *Science and Golf V: Proceedings of the world scientific congress of golf* (pp. 21-29). Tempe, AZ: Ironwood Lithographers.

Nelson, L. A., Macdonald, M., Stall, C., & Pazdan, R. (2013). Effects of interactive metronome therapy on cognitive functioning after blast-related brain injury: a randomized controlled pilot trial. *Neuropsychology, 27*, 666-679.

Newport, R., Hindle, J. V., & Jackson, S. R. (2001). Links between vision and somatosensation: Vision can improve the felt

dCollection CAU

position of the unseen hand. *Current Biology*, *11*(12), 975-980.

Ngo, M. K., Pierce, R., & Spence, C. (2012). Utilizing multisensory cues to facilitate air traffic management, *Human Factors, 54*, 1093-1103.

Niedermeyer, E., & da Silva, F. L. (Eds.). (2005). *Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.

Nielsen, B., & Nybo, L. (2003). Cerebral changes during exercise in the heat. *Sports Medicine, 33*(1), 1-11.

Nigbur, R., Ivanova, G., &Stürmer, B. (2011). Theta power as a marker for cognitive interference. *Clinical Neurophysiology, 122*(11), 2185-2194.

Nottebohm, F. (2002). Why are some neurons replaced in adult brain?. *The Journal of Neuroscience*, *22*(3), 624-628.

Pelz, D. (2000). *Dave Pelz's putting bible: the complete guide to mastering the green* (Vol. 2). New York, NY: Doubleday publisher.

Pelz, D., & Frank, J. A. (1999). *Dave Pelz's short game bible: Master the finesse swing and lower your score*. New York, NY: Broadway Books.

Penick, H. (1992). *Harvey Penick's little red book: Lessons and teachings from a lifetime in golf*. New York, NY: Simon and Schuster.

Penke, L., Maniega, S. M., Bastin, M. E., Hernandez, M. V., Murray, C., Royle, N. A., & Deary, I. J. (2012). Brain white

dCollection CAU

matter tract integrity as a neural foundation for general intelligence. *Molecular Psychiatry*, *17*(10), 1026-1030.

Perkins-Ceccato, N., Passmore, S. R., & Lee, T. D. (2003). Effects of focus of attention depend on golfers' skill. *Journal of Sports Sciences*, *21*(8), 593-600.

Perrett, S. P., Ruiz, B. P.,& Mauk, M. D. (1993). Cerebellar cortex lesions disrupt learning-dependent timing of conditioned eyelid responses. *Journal of Neuroscience, 13*, 1708-1718.

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.

Plautz, E. J., Milliken, G. W., & Nudo, R. J. (2000). Effects of repetitive motor training on movement representations in adult squirrel monkeys: role of use versus learning. *Neurobiology of Learning and Memory*, *74*(1), 27-55.

Poolton, J. M., Masters, R. S. W., & Maxwell, J. P. (2005). The relationship between initial errorless learning conditions and subsequent performance. *Human Movement Science*, *24*(3), 362-378.

Putnam, C. (1993) Sequential motions of body segments in striking and throwing skills: descriptions and explanations. *Journal of Biomechanics, 26,* 125-135.

Raichle, M. E., & Snyder, A. Z. (2007). A default mode of brain function: a brief history of an evolving idea. *Neuroimage*, *37*(4), 1083-1090.

dCollection CAU

Raichle, M. E., MacLeod, A. M., Snyder, A. Z., Powers, W. J., Gusnard, D. A., & Shulman, G. L. (2001). A default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *98*(2), 676-682.

Repp, H., & Su, Y-H. (2013). Sensorimotor synchronization: A review of recent research (2006-2012). *Psychological Bulletin Review, 20*, 403-452.

Rijntjes, M., & Weiller, C. (2002). Recovery of motor and language abilities after stroke: the contribution of functional imaging. *Progress in Neurobiology*, *66*(2), 109-122.

Ritter, M., Colson, K. A., & Park, J. (2013). Reading Intervention Using Interactive Metronome in Children With Language and Reading Impairment A Preliminary Investigation. *Communication Disorders Quarterly*, *34*(2), 106-119.

Rosenzweig, M. R., & Bennett, E. L. (1996). Psychobiology of plasticity: effects of training and experience on brain and behavior. *Behavioural Brain Research*, *78*(1), 57-65.

Ross, J. S., Tkach, J., Ruggieri, P. M., Lieber, M., & Lapresto, E. (2003). The mind's eye: functional MR imaging evaluation of golf motor imagery. *American Journal of Neuroradiology, 24*(6), 1036-1044.

Rubia, K., & Smith, A. (2004). The neural correlates of cognitive time management: a review. *Acta Neurobiologiae Experimentalis, 64*, 329-340.

Sabado, J. J., & Fuller, D. R. (2008). A Preliminary study of the effects of interactive metronome training on the language skills of an adolescent female with a language learning

dCollection CAU

disorder. *Contemporary Issues in Communication Science and Disorders*, *35*, 65-71.

Sage, G. H. (1984). *Motor learning and control: A neuropsychological approach*. Dubuque, IA: W. C. Brown.

Salman, M. S. (2002). The cerebellum: it's about time! But timing is not everything-new insights into the role of the cerebellum in timing motor and cognitive tasks. *Journal of Child Neurology, 17*, 1-9.

Savelsbergh, G. J. P., & Bootsma, R. J. (1994). Perception-action coupling in hitting and catching. *International Journal of Sport Psychology*, *25*, 331-343.

Schaechter, J. D. (2004). Motor rehabilitation and brain plasticity after hemiparetic stroke. *Progress in Neurobiology*, *73*(1), 61-72.

Schmidt, R. A., & Lee, T. (2014). *Motor Learning and Performance.* (5th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Schmidt, R., & Wrisberg, C., (2004). *Motor learning and performance. A problem-based learning approach.* (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

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.

Seeley, W. W., Menon, V., Schatzberg, A. F., Keller, J., Glover, G. H., Kenna, H., & Greicius, M. D. (2007). Dissociable intrinsic connectivity networks for salience processing and executive

dCollection CAU

control. *The Journal of Neuroscience*, *27*(9), 2349-2356.

Shaffer, R. J., Jacokes, L. E., Cassily, J. F., Greenspan, R.F., Tuchman, P.J. & Stemmer, P.J. (2001). Effect of interactive metronome training on children with ADHD. *American Journal of Occupational Therapy,* 55, 155-161.

Shammi, P., & Stuss, D. T. (1999). Humour appreciation: a role of the right frontal lobe. *Brain, 122*(4), 657-666.

Smulders, T. V., Shiflett, M. W., Sperling, A. J., & DeVoogd, T. J. (2000). Seasonal changes in neuron numbers in the hippocampal formation of a food-hoarding bird: the black-capped chickadee. *Journal of Neurobiology*, *44*(4), 414-422.

Söğüt, M., Kirazci, S., & Korkusuz, F. (2012). The Effects of Rhythm Training on Tennis Performance. *Journal of Human Kinetics, 33*, 123-132.

Sommer, M., & Rönnqvist, L. (2009). Improved Motor-Timing: Effects of Synchronized Metro-Nome Training on Golf Shot Accuracy. *Journal of Sports Science & Medicine*, *8*(4), 648-656.

Sommer, M., Häger, C., & Rönnqvist, L. (2014). Synchronized metronome training induces changes in the kinematic properties of the golf swing. *Sports Biomechanics, 13*(1), 1-16.

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.

dCollection CAU

Stein, B., & Meredith, M. A. (1993). *The merging of the senses*. Cambridge, Mass: MIT Press.

Stoodley, C. J., Valera, E. M., & Schmahmann, J. D. (2012). Functional topography of the cerebellum for motor and cognitive tasks: an fMRI study. *Neuroimage*, *59*(2), 1560-1570.

Swinnen, S. P., & Duysens, J. (Eds.). (2012). *Neuro-behavioral determinants of interlimb coordination: a multidisciplinary approach*. New York, NY: Springer Science & Business Media.

Taub, G. E., McGrew, K. S., & Keith, T. Z. (2007). Improvements in interval time tracking and effects on reading achievement. *Psychology in the Schools, 44,* 849-863.

Taub, G. E., McGrew, K. S., & Keith, T. Z. (2015). Effects of Improvements in Interval Timing on the Mathematics Achievement of Elementary School Students. *Journal of Research in Childhood Education, 29*(3), 352-366.

Taylor, J.G. (2003). Recent advances in understanding attention. *Science & Consciousness Review, 4.*

Teplan, M., Krakovská, A., & Štolc, S. (2011). Direct effects of audio-visual stimulation on EEG. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, *102*(1), 17-24.

Thach, W. T. (1998). What is the role of the cerebellum in motor learning and cognition? *Trends in Cognitive Science, 2,* 331-337.

Thatcher, R. W., Toro, C., Pflieger, M. E., & Hallet, M. (1994). Human neural network dynamics using multimodal

dCollection CAU

registration of EEG, PET and MRI. *Functional Neuroimaging: Technical Foundations*, 259-267.

Thaut M. H., & Kenyon G. P. (2003). Rapid motor adaptations to subliminal frequency shifts in syncopated rhythmic sensorimotor synchronization. *Human Movement Science, 22*, 321-338.

Thaut, M., McIntosh, G., Rice, R., Miller, R., Rathbun, J & Brault. (1996). Rhythmic auditory stimulation in gait training for Parkinson's disease patients. *Movement Disorders, 11*(2), 193-200.

Timman, D., Watts, S., & Hore. J. (1999). Failure of cerebellar patients to time finger opening precisely causes ball high-low inaccuracy in overarm throws. *Journal of Neurophysiology, 2*, 103-114.

Toner, J., & Moran, A. (2011). The effects of conscious processing on golf putting proficiency and kinematics. *Journal of Sports Sciences*, *29*(7), 673-683.

Toplak, M. E., Rucklidge, J. J., Hetherington, R., John, S. C. F., & Tannock, R. (2003). Time perception deficits in attention-deficit/hyperactivity disorder and comorbid reading difficulties in child and adolescent samples. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 44*(6), 888-903.

Trejo, J. L., Carro, E., & Torres-Alemán, I. (2001). Circulating insulin-like growth factor I mediates exercise-induced increases in the number of new neurons in the adult hippocampus. *The Journal of Neuroscience*, *21*(5), 1628-1634.

dCollection CAU

Trujillo, L. G. (2013). A Collective Review of Completed Research Projects Evaluating the Effectiveness of the Interactive Metronome as an Occupational Therapy Intervention PO 5052. In *White paper presented at 2013 American Occupational Therapy Association Conference*.

Turvey, M. T. (1990). Coordination. *American Psychologist, 45,* 938-953.

Ungerleider, L. G., Doyon, J., & Karni, A. (2002). Imaging brain plasticity during motor skill learning. *Neurobiology of Learning and Memory*, *78*(3), 553-564.

Vachon-Presseau, E., Achim, A., & Benoit-Lajoie, A. (2009). Direction of SMR and beta change with attention in adults. *Journal of Neurotherapy*, *13*(1), 22-29.

Watson, M., & McElligott, J. G. (1984). Cerebellar norepinephrine depletion and impaired acquisition of specific locomotor tasks in rats. *Brain Research*, *296*(1), 129-138.

Watson, T. (1998). Watson's shortcuts: How to make solid contact. *Golf Digest*, *49*, 56.

Wickens, C. D., Hollands, J. G., Banbury, S., & Parasuraman, R. (2015). *Engineering psychology & human performance.* Mahwah, NJ: Psychology Press.

Wiener, M., Turkeltaub, P. E., & Coslett, H. B. (2010). The image of time: A voxel-wise meta-analysis. *Neuroimage, 49*, 1728-1740.

Wing, A. M., Doumas, M., & Welchman, A. E. (2010). Combining multisensory temporal information for movement synchronisation. *Experimental Brain Research, 200*,

dCollection CAU

277-282.

Wiren, G., Coop, R. H., Coop, R., & Sheehan, L. (1985). *New Golf Mind*. New York, NY: Simon and Schuster, Inc.

Witelson, S. F. (1982). Bumps on the brain: Right-left anatomic asymmetry as a key to functional lateralization. In *Language functions and brain organization*. Academic Press New York, 117-144.

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.

Wulf, G. (2007). *Attention and motor skill learning*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Youngstedt, S. D., Dishman, R. K., Cureton, K. J., & Peacock, L. J. (1993). Does body temperature mediate anxiolytic effects of acute exercise?. *Journal of Applied Physiology, 74*(2), 825-831.

Zachopoulou, E., & Mantis, K. (2001). The role of rhythmic ability on the forehand performance in tennis. *European Journal of Physical Education*, 6, 117-126.

Zachopoulou, E., Mantis, K., Serbezis, V., Teodosiou, A. & Papadimitriou, K. (2000) Differentiation of parameters for rhythmic ability among young tennis players, basketball players and swimmers. *Physical Education & Sport Pedagogy, 5*, 220-230.

Zanone, P. G., & Kelso, J. A. S. (1991). Relative timing from the perspective of dynamic pattern theory: Stability and instability. *Advances in Psychology*, *81*, 69-92.

dCollection CAU

부 록

dCollection CAU

부록 1. 연구참여동의서

연구 참여 동의서

본 연구는 브레인타이밍 훈련을 통한 뇌파, 주의집중력, 퍼팅수행력 변화를 확인하기 위한 연구입니다. 본 연구에서 수집된 모든 정보는 연구 목적 외에 사용되지 않을 것입니다.

1. 연구자 정보

중앙대학교	김필중	010.9449.4170	pjkim@cau.ac.kr

2. 연구주제

-IM훈련이 골프선수의 뇌파와 퍼팅수행에 미치는 효과

3. 연구 참여 기간 및 계획

-2015.07.01. ~ 2015.08.31 중 오리엔테이션 및 본 실험 총 15회 참여.

-주 2회, 60분간 IM훈련에 참여(IM그룹 의무사항).

-총 3회(1회차, 6회차, 12회차) 퍼팅능력과 뇌파검사 실시.

-훈련 및 측정 시 운동화 및 운동이 가능한 복장 착용 필수.

4. 연구 참여자 신상정보

이 름	연락처
생년월일	신 장
구 력	사용퍼터
평균타수	길 이
직 업	로프트각도

상기 본인은 본 연구의 목적과 절차를 안내 받아 충분히 이해하였습니다.
그리고 언제든지 본인의 의사로 연구의 참여를 중지할 수 있음을 안내받았습니다.
또한 본인은 유사한 훈련 경험이 없고 신체적, 정신적 질병이나 문제점이 없음을 증명합니다. (이 름)(은)는 본 연구의 연구참여자로 참가할 것을 서약합니다.

2015 년 7 월 일

연구참여자 (서명)/(인)

dCollection CAU

부록 2. IM훈련 프로그램

session (reps)	Task(reps)	session (reps)	Task(reps)
1 session (1600)	1.Both Hands-sound off(400) 1.Both Hands(400) 4.Both Toes(200) 5.Right Toe(150) 6.Left Toe(150) 14.Putting-Hands(100) 15.Putting-Shoulder(100) 16.Putting-Putter(100)	7 session (2200)	4.Both Toes(400) 1.Both Hands(900) 12.Balance Right Foot/Tap Left Toe(100) 13.Balance Left Foot/Tap Right Toe(100) 7.Both Heels(200) 14.Putting-Hands(300) 15.Putting-Shoulder(100) 16.Putting-Putter(100)
2 session (1600)	1.Both Hands(400) 2.Right Hand(200) 3.Left Hand(200) 4.Both Toes(200) 5.Right Toe(150) 6.Left Toe(150) 14.Putting-Hands(100) 15.Putting-Shoulder(100) 16.Putting-Putter(100)	8 session (2200)	12.Balance Right Foot/Tap Left Toe(100) 13.Balance Left Foot/Tap Right Toe(100) 1.Both Hands(1100) 10.Right Hand/Left Toe(200) 11.Left Hand/Right Toe(200) 14.Putting-Hands(100) 15.Putting-Shoulder(300) 16.Putting-Putter(100)
3 session (2000)	1.Both Hands(200) 4.Both Toes(300) 2.Right Hand(300) 3.Left Hand(300) 5.Right Toe(300) 6.Left Toe(300) 14.Putting-Hands(100) 15.Putting-Shoulder(100) 16.Putting-Putter(100)	9 session (2200)	5.Right Toe(100) 6.Left Toe(100) 1.Both Hands(1500) 14.Putting-Hands(200) 15.Putting-Shoulder(200) 16.Putting-Putter(100)
4 session (2000)	1.Both Hands(400) 4.Both Toes(300) 6.Left Toe(100) 2.Right Hand(100) 10.Right Hand/Left Toe(200) 5.Right Toe(100) 3.Left Hand(100) 11.Left Hand/Right Toe(200) 7.Both Heels(200) 14.Putting-Hands(100) 15.Putting-Shoulder(100) 16.Putting-Putter(100)	10 session (2100)	8.Right Heel(100) 9.Left Heel(100) 7.Both Heels(300) 10.Right Hand/Left Toe(200) 11.Left Hand/Right Toe(200) 1.Both Hands(300) 4.Both Toes(300) 14.Putting-Hands(200) 15.Putting-Shoulder(200) 16.Putting-Putter(200)
5 session (2000)	4.Both Toes(500) 1.Both Hands(800) 8.Right Heel(100) 9.Left Heel(100) 7.Both Heels(200) 14.Putting-Hands(100) 15.Putting-Shoulder(100) 16.Putting-Putter(100)	11 session (2100)	12.Balance Right Foot/Tap Left Toe(100) 13.Balance Left Foot/Tap Right Toe(100) 1.Both Hands(1000) 14.Putting-Hands(400) 15.Putting-Shoulder(400) 16.Putting-Putter(100)
6 session (2100)	2.Right Hand(100) 10.Right Hand/Left Toe(100) 3.Left Hand(100) 11.Left Hand/Right Toe(100) 7.Both Heels(100) 1.Both Hands(1000) 14.Putting-Hands(200) 15.Putting-Shoulder(200) 16.Putting-Putter(200)	12 session (1500)	1.Both Hands(200) 4.Both Toes(200) 14.Putting-Hands(500) 15.Putting-Shoulder(500) 16.Putting-Putter(100)

dCollection CAU

부록 3. IM 및 퍼팅타이밍 훈련 기본동작

동작명	방 법
1.Both Hands	비트에 맞추어 가볍게 손바닥을 마주친 후 연속 동작으로 손을 서로 반대 방향으로 둥글게 회전시켜 다음 비트가 들릴 때에는 정확히 중앙으로 돌아와서 다시 손바닥을 마주친다. 동작을 멈추지 않고 연속동작으로 회전 운동을 한다.
2.Right Hand	선 자세에서 오른 팔을 자연스럽게 내린 자세를 취한다. 비트에 맞추어 트리거를 옆구리에 가볍게 친 후 연속 동작으로 손을 둥글게 회전시켜 다음 비트가 들릴 때에는 정확히 옆구리로 돌아와서 다시 친다. 이 동작은 연속적으로 매끄러운 동작이어야 하며 손을 갑자기 움직이거나 앞뒤로 움직이지 않아야 한다.
3.Left Hand	위의 운동 2와 같은 방법으로 하되 왼손을 사용하여 왼쪽 옆구리를 친다.
4.Both Toes	탭매트 앞에 가까이 선다. 비트에 맞추어 먼저 오른발 끝으로 가볍게 탭매트를 친 후 제자리로 돌아오게 한다. 다음 비트에는 왼발 끝으로 같은 동작을 반복한다. 매 비트마다 발을 교대로 사용하는 동작은 연속적이어야 한다.
5.Right Toe	오른발의 뒤꿈치는 지면에 닿은 상태에서 발가락 쪽을 들고 선다. 비트에 맞추어 오른발 발가락 끝으로 트리거를 가볍게 친 후 다시 발끝을 들고 매 비트마다 이 동작을 반복한다.
6.Left Toe	위의 운동 5와 같은 방법으로 하되 왼발 발가락을 사용한다.
7.Both Heels	탬매트를 뒤꿈치 쪽에 설치한다. 두 발꿈치가 각각 탭매트와 약간 떨어지게 선 자세를 취한다. 비트에 맞추어 오른발 뒤꿈치로 가볍게 트리거를 친 후 다리를 제자리로 돌아오게 한다. 다음 비트에는 왼발 뒤꿈치로 같은 동작을 반복한다.
8.Right Heel	풋 트리거를 등지고 오른발 끝을 바닥에 딛고 발뒤꿈치는 트리거 위에 떠있는 자세를 취한다. 비트에 맞추어 오른발의 뒤꿈치로 트리거를 가볍게 친 후 다시 뒤꿈치를 들며 매 비트마다 이 동작을 반복한다.
9.Left Heel	위의 운동 8과 같은 방법으로 하되 왼발 뒤꿈치를 사용한다.
10.Right Hand/Left Toe	매 비트마다 2번 동작과 6번 동작을 교대로 반복한다.
11.Left Hand/Right Toe	매 비트마다 3번 동작과 5번 동작을 교대로 반복한다.
12.Balance Right Foot/ Tap Left Toe	오른발로만 딛고 왼발은 탭매트 위에 발을 든 자세로 선다. 비트에 맞춰 무릎을 이용해 왼발 끝으로 탭매트를 가볍게 치고 제자리로 돌아온다.
13.Balance Left Foot/ Tap Right Toe	위의 운동 12와 같은 방법으로 하되 오른발 끝으로 태핑을 하고 왼발로 균형을 잡는다.
14.Putting- Hands	왼손 손등에 트리거를 장착하고 빈손으로 퍼팅동작을 실시하여 고정된 물체를 친다.이 때 머리와 척추의 움직임을 최소화하도록 주의한다.
15.Putting-Shoulder	양손에 퍼터를 들고 퍼팅동작을 하며 벽면에 고정된 버튼트리거를 왼쪽 어깨로 치는 동작이다.
16.Putting-Putter	실제 퍼터를 들고 매트에 고정된 탭매트를 치는 동작으로 실제 퍼팅을 할 때의 동작과 동일하게 실시한다.

dCollection CAU

부록 4. IM Long Form Assessment Sample

Date__/__/____

Task	MS	Early %	Late %	Tendency
1. Both Hands				
2. Right Hand				
3. Left Hand				
4. Both Toes				
5. Right Toe				
6. Left Toe				
7. Both Heels				
8. Right Heel				
9. Left Heel				
10. Right Hand/Left Toe				
11. Left Hand/Right Toe				
12. Balance Right Foot				
13. Balance Left Foot				
14. Repeat #1- with Guide Sounds				

Pre Long Form Assessment Results:

Hands ms average: _____ Feet ms average: _____

Overall ms average: _____ Tendency: Early _____% Late: _____%

Lowest ms average: _____ Bursts: _____ IAR high: _____

Optional Attend-Over-Time Test

AOT ms average: _____

IAR high: _____ Bursts: _____ SRO%: _____

Age	6	7 to 8	9 to 10	11 to 12	13 to 15	16+
Extreme Deficiency	280+	270+	260+	240+	215+	200+
Severe Deficiency	175 - 279	170 - 269	160 - 259	155 - 239	150 - 214	147 - 199
Below Average	120 - 174	90 - 169	80 - 159	75 - 154	72 - 149	70 - 146
Average	90 - 119	65 - 89	55 - 79	45 - 74	43 - 71	41 - 69
Above Average	56 - 89	45 - 64	38 - 54	36 - 44	33 - 42	30 - 40
Exceptional	40 - 55	32 - 44	28 - 37	26 - 35	23 - 32	22 - 29
Superior	Below 40	Below 32	Below 28	Below 26	Below 23	Below 22

Observations :

_____

_____

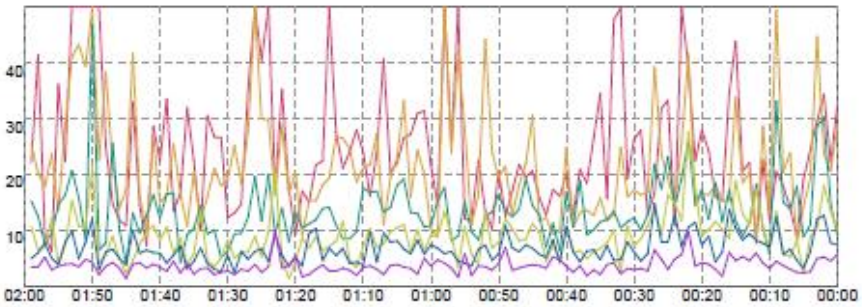
_____

_____

dCollection CAU

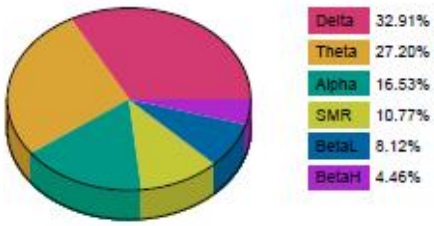
부록 5. 뇌파측정 결과지

<왼쪽 뇌파 Linear graph

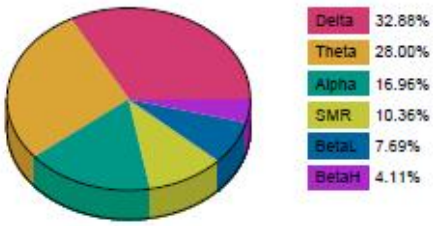


<오른쪽 뇌파 Linear graph>

<왼쪽 뇌파 파이그래프>



<오른쪽 뇌파 파이그래프>



dCollection CAU

부록 6. 50-Ball test 검사지

50-ball test

Name :　　Hcp:　　Date:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Score	Par
1m												11
2m												13
3m												15
4m												16
5m												17
Sum												72

Note. Stroke play - all putts should be holed
Always change to a different hole on the practice green between each putt.
Distances are from “centre hole” to “centre ball”
Use variation in slope and break

Average Score (men/boys)		Average Score (women/girls)	
World class	73.0	World Class	74.9
European Tour	74.3	LET	76.7
Challenge Tour	75.0	+2 hcp	77.8
+2 hcp	75.9	Scratch	78.8
Scratch	76.8	hcp 5	81.4
hcp 5	79.1	hcp 10	84.0
hcp 10	81.3		

dCollection CAU

부록 7. 측정 및 훈련 현장사진

운동타이밍 측정 및 IM훈련현장

뇌파검사 현장

50-Ball test 현장

dCollection CAU

국문초록

Interactive metronome(IM)훈련이 운동타이밍, 뇌파, 골프퍼팅수행에 미치는 효과: 신경심리학적 접근

김 필 중
중앙대학교 대학원
체육학과 스포츠심리학 전공

본 연구의 목적은 IM훈련이 골프선수들의 운동타이밍, 뇌파, 퍼팅수행능력에 미치는 효과를 알아보는 것이다. 연구의 참여자는 34명의 전문골프선수였으며, 이들은 실험집단(IM집단) 18명, 통제집단 16명으로 할당하였다. 실험집단은 총 12회기의 IM훈련을 실시하였고 통제집단은 실험집단이 IM훈련에 참여하는 동안 퍼팅그린에서 자율적인 퍼팅연습을 실시하였다.

종속변인의 변화를 확인하기 위한 모든 측정은 훈련 전(사전), 훈련 중(중간), 훈련 후(사후)로 3차례 이루어졌다. IM의 Long form assessment(LFA)를 통해 운동타이밍능력 변화를 확인하였고, 퍼팅 시 전전두엽의 뇌파를 측정한 뒤 주의집중지수(RSMT)를 확인하였다. 퍼팅수행능력은 초음파센서 퍼팅분석기(SAMPUTTLAB)와 50-ball test를 통해 확인하였다. 각 검사에서 측정된 값의 변화와 집단 간 차이를 확인하기 위하여 반복측정 이원분산분석을 실시한 결과에서 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, IM훈련은 운동타이밍능력 향상에 효과적이다. IM훈련집단의 모든 운동타이밍 오차는 유의한 감소를 나타냈다. 이 같은 결과는 타이밍에 관련된 두뇌 영역의 기능이 향상되어 운동타이밍 기능에 영향을 미친 것으로 사료된다.

dCollection CAU

둘째, 실험집단의 좌우전전두엽의 세타파는 유의한 감소를 보였으며 우측 전전두엽의 SMR파, 중간 베타파, 높은 베타파는 모두 유의한 증가를 보였다. 본 결과를 통해 IM훈련이 세타파 감소에 효과적이며 골프선수의 퍼팅 시 우뇌의 활성화에 영향을 미친 것을 알 수 있다.

셋째, IM훈련집단의 주의집중지수의 유의한 향상이 나타나 IM훈련의 주의집중력 향상 효과를 확인하였다. 이는 IM훈련이 백질신경로의 두뇌영역 간 교신 효율을 높여 정보처리 능력과 주의집중시스템의 기능이 향상되어 나타나는 현상으로 파악된다.

넷째, IM훈련은 골프 퍼팅타이밍 향상에 효과적이다. 이 같은 결과는 증가된 운동타이밍 능력이 골프 퍼팅타이밍으로 전이되어 나타난 것이다.

다섯째, IM훈련은 현장골프수행 능력을 향상시킨다. 본 연구에서 확인된 골프선수의 운동타이밍 능력, 우뇌기능의 활성화, 주의집중력, 퍼팅타이밍 향상이 퍼팅 현장수행능력을 긍정적으로 변화시킨 것으로 보인다.

종합적으로 IM훈련은 기초운동능력과 운동기술에 긍정적인 영향을 미쳤으며 긍정적인 신경심리학적 변화를 가져왔다. 특히 훈련 중 외부환경과 내부 움직임을 동기화하는 과정에서 운동협응과 타이밍능력 그리고 선택적 주의집중의 강화가 나타난 것으로 사료된다. 더불어 우뇌의 활성화는 골프 퍼팅 상황에서 목표지점에 대한 공간지각능력과 퍼터헤드의 시간적 움직임 속도조절 능력에 긍정적인 영향을 미친 것으로 해석될 수 있다. 따라서 IM훈련은 단일훈련으로 스포츠 현장에서 운동학적, 신경학적, 심리적 기능을 동시에 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

주요어: 상호작용식 메트로놈(Interactive Metronome), IM훈련, 브레인타이밍, 운동타이밍, 주의집중, 골프퍼팅수행, 뇌파

dCollection CAU