대한감각통합치료학회지 제20권 1호
The Journal of Korean Academy of Sensory Integration
2022 Vol. 20. No. 1

http://dx.doi.org/10.18064/JKASI.2022.20.1.14

두뇌타이밍 훈련이 읽기 능력에 미치는 효과: 후향적 비교연구

정미양*, 박지영**, 정효심***, 유연환**, 홍승표****

*한국아동신경발달연구소 소장, **한국아동신경발달연구소 작업치료사
***한국아동신경발달연구소 책임연구원, ****동남보건대학 작업치료과 부교수

국문초록

목적 : 본 연구는 두뇌타이밍 능력이 낮은 아동을 대상으로 상호작용식 메트로놈(Interactive Metromome; IM)을 이용한 두뇌타이밍 훈련을 적용한 후 읽기 능력에 미치는 효과를 파악하고자 하였다.

연구방법 : 2019년~2021년에 아동발달연구소에서 IM 훈련을 시행한 아동 중 타이밍 능력이 자신의 연령 평균보다 낮은 아동 8명의 자료를 수집하여 검사 전-검사 후의 변화를 비교하였다. 두뇌타이밍 훈련은 주당 2~3회기, 총 70회기 이상, 회기 당 40~50분으로 아동의 발달적 특성에 따라 적용되었다. 훈련 전후 두뇌타이밍의 변화는 IM의 전체형검사(Long Form Assessment; LFA), 읽기 능력은 기초학습기능 수행평가체제(Basic Academic Skills Assessment:Reading; BASA:R)로 측정하였다.

결과 : LFA의 두뇌타이밍 능력 평가결과 모든 아동의 전체 운동과제의 반응시간이 감소되어 두뇌타이밍 능력이 향상된 것으로 나타났고 통계학적으로도 유의한 차이를 보였다(p<.05). 또한 BASA:R의 읽기 검사와 빈칸채우기 검사의 원점수에서도 유의한 향상을 나타냈다(p<.05).

결론 : 본 연구는 두뇌타이밍 능력이 낮은 아동의 읽기 능력 향상을 위한 두뇌타이밍 훈련의 임상적 근거를 제시하였다는데 그 의의가 있다.

주제어 : 두뇌타이밍, 상호작용 메트로놈, 읽기 검사, BASA:R

Ⅰ. 서 론

두뇌타이밍은 뇌에서 시간적으로 일어나는 정밀한 신경 전달을 의미하고 다양한 뇌 영역들 간에 교신을 통해 이루어진다(Kim, Han, Kim, & Han, 2015). 두뇌타이밍은 인간이 하는 모든 행동에 필수적이며 복잡한 행동 과정은 정신적 타이밍(mental timing)이 개입되지 않고서는 설명할 수 없다(Lewis & Walsh, 2005; Mauk & Buonomano, 2004).

두뇌타이밍은 하루 주기타이밍, 인터벌타이밍 그리고 밀리세컨드타이밍으로 구분된다(Buhusi & Meck, 2005). 하루 주기타이밍은 24시간 주기에 맞춰 살아갈

교신저자: 홍승표(otsun@dongnam.ac.kr)
접수일: 2022.04.20. ‖ 심사일: 2022.05.04. ‖ 게재확정일: 2022.06.21.

수 있도록 행동과 생체리듬을 원활하게 하기 위한 것으로 배고픔, 수면과 관련된다. 인터벌타이밍은 시간 단위 중 초에서 분 단위로 의사결정 및 사고, 지각과 관련되어 있다. 밀리세컨드타이밍은 시간 단위 중 1000분의 1초를 일컬으며 소뇌(cerebellum), 바닥핵(basal ganglia), 오른쪽 마루엽(right parietal lobe), 등쪽이마앞겉질(dorsal prefrontal cortex) 등과 같은 뇌 영역들이 정보를 교류하는 시간 단위를 의미한다. 이는 운동조절, 언어 인식과 말하기, 협응 능력 등과 관련되어 있다.

적절한 두뇌타이밍은 사회적 기능에 필수적이고 운동기능과 인지기능의 넓은 범위에 영향을 미친다(Rubia & Smith, 2004). 또한 운동계획, 순서, 주의력과 학업 수행에도 중요하며(Leisman & Melillo, 2010), 음성처리, 운동 협응, 독해, 정보기억 등을 가능하게 하여 일상생활에 있어 필수적 요소이다(Rubia & Smith, 2004).

이러한 두뇌타이밍 결함으로 인해 부주의, 과잉행동, 충동성이 나타나고 시간 관리, 정리, 읽기와 같은 학업 수행, 작업 기억에도 어려움이 있다는 연구결과들이 보고되고 있다(Fortin, Champagne, & Poirier, 2007; Rommelse, Oosterlaan, Buitelaar, Faraone, & Sergeant, 2007). 또한 두뇌타이밍 문제와 관련된 질환으로 알츠하이머, 주의력결핍 과잉행동장애(Attention Deficit Hyperactivity Disorder; ADHD), 조현병, 자폐범주성장애, 조울증, 파킨슨병, 읽기 장애 등이 알려져 있다(Bush, 2010; Bressler & Menon, 2010; Castellanos & Proal, 2012; Ritter, Colson, & Park, 2013).

일상생활, 학업 수행, 운동 수행 등 다양한 삶의 영역에 영향을 주고 있는 두뇌타이밍을 향상시키기 위한 방법들 중에 상호작용식 메트로놈(Interactive Metronome; IM)훈련이 있으며 이는 두뇌타이밍 중에 밀리세컨드타이밍인 1000분의 1초 타이밍 시스템과 아주 밀접한 관계가 있다. IM 훈련은 국내외 선행 연구에서 주의력결핍 과잉행동장애, 발달성협응장애(Developmental Doordination Disorder; DCD), 지적장애, 자폐범주성장애, 뇌성마비, 언어 학습장애, 읽기 장애, 뇌졸중, 파킨슨병, 축구 선수, 골프 선수, 일반 학생 등 다양한 대상으로 연구가 진행되었으며 두뇌타이밍 향상을 통해 신경적인 손상의 개선과 신체적인 기능의 향상을 제시하여 그 효과성을 보고하였다(Bang & Kim, 2021).

이 효과성에 대해 McGrew(2013)는 3단계의 신경생리학적 기전으로 설명하였다. 첫 번째 단계로 주요 뇌 영역의 일반 신경인지 메커니즘인 뇌의 시간적 정보처리 속도를 증가시킨다. 두 번째 단계로 뇌는 특정 기능을 수행하기 위해 상호 연결된 뇌 영역들의 기능적 네트워크들이 존재하는데 IM 훈련은 네트워크 간에 커뮤니케이션과 동기화가 이루어지는 과정을 반복하게 함으로써 뇌의 영역들 간에 효율적인 연결을 촉진하게 된다. 세 번째 단계는 주의 조절 시스템(Attentional Control System; ACS) 기능을 향상시킨다. 이는 내, 외부로부터 발생하는 방해나 산만 요소들에 대한 통제력을 높여 작업 기억을 유지하면서 주의집중을 할 수 있도록 한다. 이러한 기능적 제어는 초기에는 어렵지만 지속적인 IM 훈련을 통해 뇌의 영역간 효율적인 연결과 동기화로 집중력, 실행기능, 작업 기억을 향상시킴으로써 복잡한 인지처리 및 학습이 효율적으로 이루어지도록 도와 과도한 노력을 기울이지 않아도 목표를 이룰 수 있게 된다. McGrew의 3단계 신경 생리기전은 IM 훈련이 뇌 신경가소성에 상당한 영향을 미치는 것을 시사한다(McGrew, 2013). 또한 IM 훈련 효과와 관련한 인지, 주의력, 언어 및 청각 기능처리, 공격성, 읽기 능력, 수학 성취도, 운동 조정, 양측 협응, 균형 능력 등에 미치는 선행 연구를 통해 IM 훈련이 뇌 신경가소성과 관련되었다는 근거를 제시할 수 있다(Bang & Kim, 2021). 이러한 선행 연구들 중에 읽기 능력과 관련하여 Wolff(2002)는 읽기 장애가 있는 아동은 언어 체계 뿐만 아니라 두뇌타이밍에도 문제가 있으며, 특히 청각 처리와 관련된 타이밍 문제는 글자를 해독하고 이해하는 문제에 근본적인 원인이 될 수 있다고 하였다(Tallal, 1980; Tallal, Miller, Jenkins, & Merzenich, 1997; Tallal & Stark, 1982; Wolff, 2002).

Ritter, Colson과 Park(2013)은 언어와 읽기에 어려움이 있는 초등학생을 대상으로 읽기와 언어 중재만 받은 아동과 IM훈련을 함께 실시한 그룹을 비교했을 때 IM 훈련을 실시한 아동들이 읽기 유창성과 이해에서 높은 향상을 나타냈고 IM 훈련이 읽기 유창성과 이해를 촉진하는 유용한 방안으로 제안하였다. Bonacina, Krizman, White-Schwoch와 Kraus(2018)의 연구, Woodruff Carr, Fitzroy, Tierney, White-Schwoch와 Kraus(2017)의 연구에서도 두뇌타이밍 훈련이 읽기에 어려움이 있는 아동과 청소년에게 읽기 능력의 중재로 제공될 수 있음을

고찰하였다. 그러나 국내 연구에서는 이와 같은 두뇌타이밍 훈련이 읽기 능력과 관련된 연구들이 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 두뇌타이밍 훈련인 IM 훈련이 읽기 능력에 미치는 효과를 보고자 하였다. 이를 위해 국내의 한 아동발달연구소에서 2019년부터 2021년까지 IM 훈련을 받은 아동을 대상으로 저자들은 훈련기록과 평가기록지 분석을 통하여 선정기준에 부합하는 아동을 추출하여 후향적으로 비교 분석하였다. 현재 국내 연구에서 IM 훈련이 읽기 능력에 미치는 영향에 대한 선행연구들이 부족한 실정으로 본 연구를 통해 읽기 능력 향상을 위한 중재로 IM 훈련의 효과성을 알아보고자 한다.

Ⅱ. 연구방법

1. 연구대상 및 자료추출

본 연구는 IM 훈련의 읽기 능력에 대한 효과성을 분석하기 위한 후향적 비교연구(retrospective comparative study)이다. 대상 아동에 대한 의무기록지에서 정보를 추출할 때 대상 아동을 식별할 수 있는 성명, 환자번호 등은 모두 제거한 상태에서 임상경력 10년차 이상인 작업치료사와 대학교수가 데이터를 수집하였다. 의무기록에서 추출된 자료 중 일반적 특성은 성별, 나이, 학년이고, 평가자료는 읽기 평가와 IM 프로그램에서 제공하는 검사자료이다.

연구대상자는 2019년부터 2021년까지 서울시 소재의 한 아동발달연구소를 내원하여 IM훈련에 참여한 아동 17명 중에서 타이밍 능력이 자신의 연령 평균 이하인 아동들 8명을 추출하여 연구대상자로 선정하였다. 연구대상자의 선정 기준은 다음과 같다.

1) 초등학교 1학년 이상인 아동으로 읽기평가(BASA:R)를 실행할 수 있는 아동

2) IM 평가 중 전체형 검사 결과 평균 이하의 타이밍 능력을 나타낸 아동

3) 훈련 전·후의 읽기평가와 전체형 검사(Long Form Assessment; LFA)을 실행하여 평가기록지 작성이 완료된 아동

나이가 가장 어린 아동은 만6세 6개월이고 가장 많은 아동은 만8세 7개월로 총 8명의 아동을 대상으로 하였다. 연구에 참여한 대상 아동의 특성은 Table 1에 제시하였다.

2. 연구 도구

1) 기초학습기능 수행평가체제의 읽기검사(Basic Academic Skills Assessment:Reading; BASA: R)

BASA:R은 교육과정 중심측정(Curriculum Based Measurement; CBM) 절차에 근거한 학습기능 수행평가체제로 Kim(2000)에 의해 개발되었고, 초등학교 1, 2, 3

Table 1. Demographic characteristics

Variables		N (%)	M±SD
Gender	Male	5 (62.5)	-
	Female	3 (37.5)	
Age(month)			92.9±10.1
Grade	1st	2 (25.0)	
	2nd	3 (37.5)	
	3rd	3 (37.5)	
BASA:R - fluency (Pre-training) (Point)			133.6±58.9
BASA:R-comprehension (Pre-training) (Point)			4.8±3.62
LFA class (Pre-training)	1	2 (25.0)	
	2	4 (50.0)	
	3	2 (25.0)	

BASA: R: Basic Academic Skills Assessment: Reading; LFA: Long Form Assessment

학년을 대상으로 표준화하였다(Kim, 2000). BASA:R은 읽기유창성과 빈칸채우기(읽기 이해)로 구성되어 있다. 읽기유창성 검사는 주어진 자료를 시간 내에 얼마나 많은 글자를 정확하게 읽는가를 측정하는 내용으로 검사자용과 학생 읽기 자료가 따로 제작되어 있다. 학생 읽기 자료를 제시한 후 지시에 따라 1분 동안 읽게 하여 전체 읽은 글자 수에서 빠뜨린 글자나 추가한 글자, 잘못 읽은 글자, 틀린 글자 수를 뺀 것을 원점수로 계산한다. 단, 틀리게 읽은 후 스스로 교정하거나 반복하는 경우는 틀린 반응으로 처리하지 않는다(Kim, 2000).

BASA:R의 빈칸채우기는 읽기 이해를 측정하기 위한 검사로서 이야기 흐름에 적당한 단어를 고르는 방식으로 구성되어 있다. 학생용 검사지를 제시한 후 3분 동안 이야기 글을 읽다가 골라야 할 단어가 나오면 적당한 단어를 골라야 하고, 대상 아동은 확실하지 않더라도 옳다고 생각되는 단어를 골라야 한다. 원점수는 3분 동안 아동이 맞춘 정답의 개수로 기록한다. BASA:R의 내적일치도(Cronbach'α)는 .89이다(Kim, 2000). 본 연구에서 BASA:R는 IM 훈련 전후 아동의 읽기 능력에 대한 효과를 평가하기 위해서 실시하였다.

2) 상호작용식 메트로놈(Interactive Metronome; IM)

IM은 동작의 순서와 타이밍을 평가하거나, 실행능력 및 주의집중력, 뇌의 정보처리 능력을 향상시키는 훈련 도구로 개발되었다(Greenspan, 1997). IM의 도구 구성에는 하드웨어, 소프트웨어, 헤드셋, 핸드트리거, 풋트리거가 있는데 특정한 손과 발의 운동 동작으로 13가지 운동과제를 수행하면서 기준음에 따라 동시에 트리거를 두드리도록 한다. 그러면 운동과제 동안 기준음과 상대적인 타이밍 정보를 1000분의 1초인 밀리세컨드(m/s) 단위로 하여 운동과제 평점(m/s average)으로 기록한다. 운동평점은 0에 가까울수록 정확한 반응이다.

IM프로그램 내에는 반응속도와 운동수행능력을 측정하기 위한 전체형 검사(Long Form Assessment; LFA)와 단축형 검사(Short Form Assessment; SFA) 두 가지가 있다. 그 중 LFA는 13가지 운동과제와 성과 피드백 안내음이 함께 제공되는 과제가 추가되어 총 14가지 운동과제를 수행해야 한다. LFA의 검사-재검사 신뢰도는 r=.85이다(Cassily & Jacokes, 2001).

본 연구에서는 아동의 타이밍 능력을 평가하고 중재하는 도구로 IM을 사용하였다. LFA 검사 결과는 연령별 타이밍 능력 지표에 따라 가장 심한 결함(Extreme Deficiency)을 Class1, 심한 결함(Severe Deficiency)을 Class2, 평균하(Below Average)를 Class3, 평균(Average)을 Class4, 평균 상(Above Average)을 Class5, 우수(Exceptional)를 Class6, 가장 우수(Superior)를 Class7로 기술하였다.

3. 중재 과정

IM 훈련 전 아동들의 보호자에게 훈련도구와 목적에 대해 충분히 설명하였고, 매회기마다 경과에 대한 보호자 상담을 실시하였다. 평가는 중재 전과 중재 후에 실시하였는데 타이밍 능력을 평가하기 위해 IM의 LFA를 읽기 능력을 위해 BASA:R을 실시하였다. IM 중재는 국내 IM 공급 회사인 HASPI에서 제공하는 전문가 교육을 이수한 치료사가 실시하였고, BASA:R 평가는 인지치료사가 실시하였다.

IM 중재 기간은 주당 2~3회기로 총 70~220회기까지 아동의 발달적 특성과 개인적 상황에 따라 회기당 40~50분씩 적용하였다. 총 8명의 아동 중 3명이 70~100회기, 4명이 100~200회기, 1명이 200회기 이상이었다. 중재 과정은 HASPI에서 제공한 IM 전문가 교육 초급 및 중급 과정의 가이드라인에 기초하여 본 기관의 연구자들이 설정한 1-4단계에 맞추어 중재를 진행하였다. 예시로 한 아동의 프로토콜을 축약하여 제시하였다(Appendix 1).

1) 1단계

상지 기능을 위주로 하며 기준음을 익히는데 집중하였다. 타이밍 능력을 높이기보다 부드럽고 리드미컬한 동작으로 태핑할 수 있도록 했다. 치료사가 아동의 손을 잡고 같이 태핑하기도 하였다.

2) 2단계

기준음 외에 제공되는 3개의 가이드 사운드를 익히도록 하였다. 설정한 기준에 맞게 태핑할 경우, 약간 빨리 치거나 늦게 칠 경우, 많이 빨리 치거나 늦게 칠 경우 각

각 소리가 다르기 때문에 이를 구별하도록 하였다. 청지각 처리를 높이고 집중할 수 있도록 사운드의 크기나 순서는 대상 아동의 특성에 맞추어 설정하였다. 동작도 아동의 특성에 따라 다르게 적용하였는데 상지의 동작만 하거나 가능한 경우 모든 동작을 적용하기도 하였다.

3) 3단계

타이밍 점수를 비롯하여 화면에 제공되는 여러 점수들을 보면서 아동이 스스로 목표를 가지고 동기부여 하도록 하였다. 타이밍 능력 향상에 집중하였다.

4) 4단계

정해진 14개의 동작 외에 응용 동작이나 인지적 과제 등을 추가하였다. 아동이 특히 어려워하는 동작을 집중하여 훈련하거나, 취약한 인지적 과제를 적용하였다. 인지적 과제는 양손 동작을 하면서 끝말잇기, 양발 동작을 하면서 369 게임이나, 메모리 게임, 연산 문제 풀기 등을 실시하였다. 아동이 과제를 수행하는 동안 타이밍 능력을 얼마나 유지할 수 있으며 흥미와 동기가 있는지 주의 깊게 관찰하며 적용하였다.

4. 통계분석

본 연구의 수집된 자료는 SPSS/WIN 18.0 통계 프로그램을 사용하여 분석하였다. 대상자의 일반적 특성과 측정값은 평균, 표준편차, 빈도 등의 기술통계를 이용하여 제시하였다. 연구대상자들의 IM 중재 전·후 읽기 능력과 타이밍 능력의 차이를 비교하기 위해 비모수 검정 방법인 Wilcoxon 부호순위검정을 사용하여 분석하였다. 본 연구의 통계학적 유의수준은 .05로 정하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. IM 중재 전·후 두뇌타이밍 능력(LFA)의 변화

연구대상자들의 IM 중재 전·후 두뇌타이밍 능력의 변화를 확인하기 위하여 LFA 점수 차이를 비교한 결과는 다음과 같다(Table 2). 중재 전 LFA의 TA 점수는 217.4(m/s average)에서 중재 후 39.1(m/s average)로 향상되었고, 통계학적으로 유의미한 차이를 보였다(p<0.05). LFA Class는 중재 전 2.0단계에서 5.75 단계로 유의하게 향상되었고, EH와 LH 점수에서도 훈련 후 50%에 가까웠고, 훈련 전후 유의한 차이를 나타냈다(p<.05). 또한 연구대상자의 개별 LFA 점수의 변화를 확인한 결과 모두 향상된 것으로 나타났다(Figure 1).

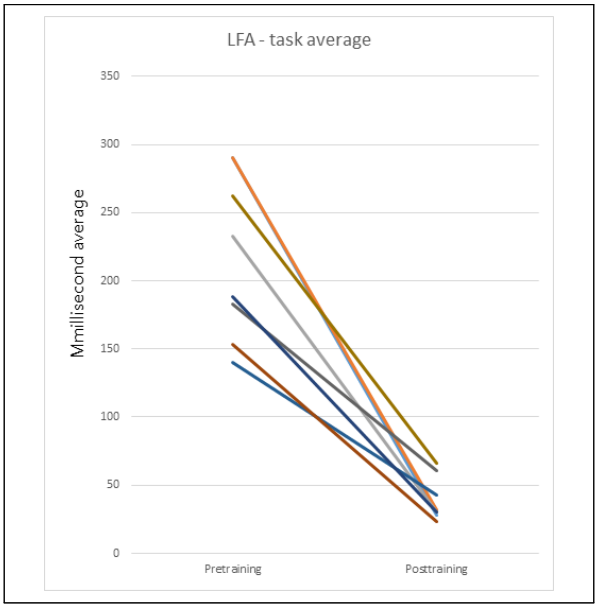

Figure 1. Change of temporal processing by LFA-task m/s average of each subjects

LFA: Long Form Assessment

Table 2. Comparison of temporal processing between pre- and post-training using LFA

LFA	M±SD		Z	p
	Pre-training	Post-training		
TA (m/s ave.)	217.4±59.7	39.1±16.1	-2.521	0.012*
Class	2.0±0.8	5.75±1.0	-2.539	0.011*
EH (%)	67.1±13.2	47.2±8.8	-2.521	0.012*
LH (%)	33.0±13.2	52.8±8.8	-2.521	0.012*

*p<.05, LFA: Long Form Assessment; TA: Task average; EH: Early hit; LH: Late hit; m/s ave.: millisecond average

Table 3. Comparison of reading ability between pre- and post-training using BASA:R

BASA: R		M±SD		Z	*p*
		Pre-training	Post-training		
Fluency	Raw score	133.6±58.9	183.1±78.3	-2.521	0.012*
	T- score	41.8±15.2	42.7±15.9	-0.507	0.612
	%ile	32.0±37.2	38.6±35.1	-1.572	0.116
	Grade score	1.5±0.5	2.2±0.9	-2.201	0.028*
Comprehension	raw score	4.8±3.6	10.8±6.4	-2.117	0.034*
	T- score	45.5±24.0	51.4±15.4	0.000	1.000
	%ile	43.5±39.0	43.3±34.1	-0.700	0.484*
	Grade score	2.0±0.8	3.0±1.1	-2.197	0.028*

*p<.05, BASA: R: Basic Academic Skills Assessment: Reading; LFA: Long Form Assessment

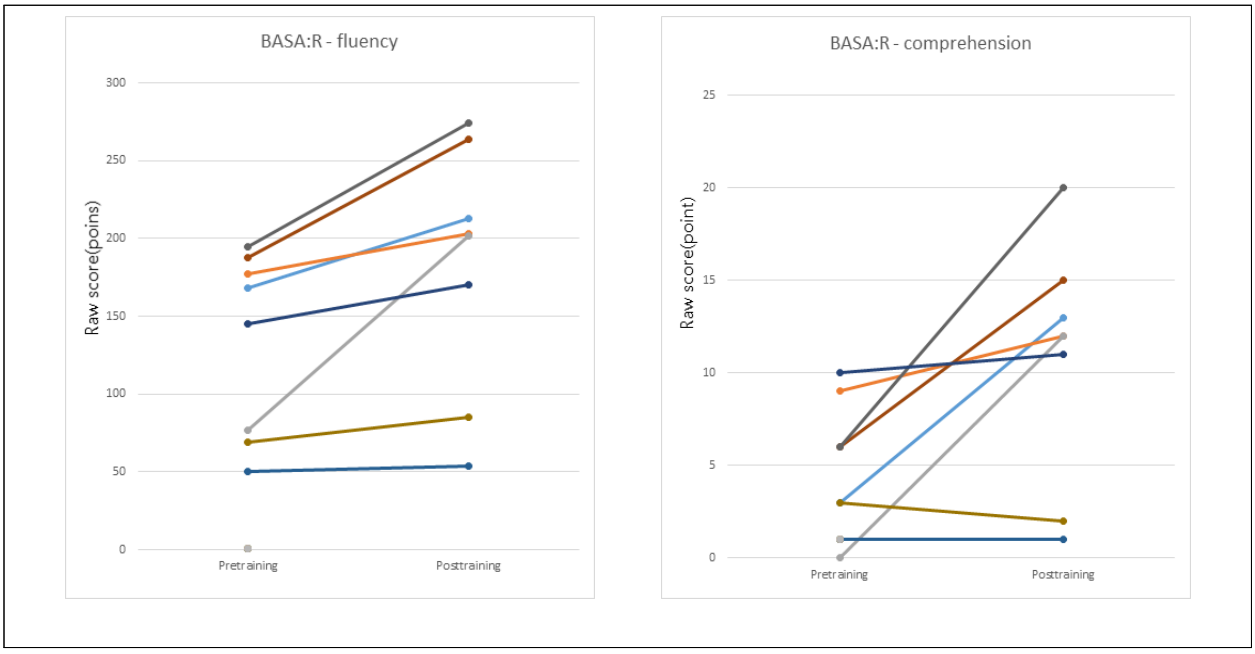

Figure 2. Change of reading ability by BASA:R of each subjects

BASA: R: Basic Academic Skills Assessment: Reading

2. IM 중재 전·후 읽기 능력 평가(BASA:R)의 변화

연구대상자들의 IM 중재 전 · 후 읽기 능력의 변화를 확인하기 위하여 BASA:R의 읽기 검사와 빈간채우기 검사의 점수 차이를 비교한 결과는 다음과 같다(Table 3). 중재 전 BASA:R의 읽기 검사 원점수는 평균 133.6점에서 중재 후 평균 183.1점으로 향상되었고, 통계학적으로 유의미한 차이를 보였다(p<.05). 학년점수도 중재 전 1.5학년에서 중재 후 2.2학년으로 유의미하게 향상되었다. BASA:R의 빈간채우기 검사 원점수는 중재 전 4.8점에서 10.8점으로, 학년점수도 2.0학년에서 3.0학년으로 유의하게 향상된 것으로 나타났다(p<.05). 또한 연구대상자의 개별 BASA:R 점수의 변화를 확인한 결과 대부분 향상된 것으로 나타났다(Figure 2).

Ⅳ. 고 찰

국내에서 일상생활, 학업 등 삶의 다양한 영역에 영향

을 미치는 두뇌타이밍을 향상시키기 위한 방법으로 상호작용식 메트로놈 훈련를 적용하는 시도가 점차 확대되고 있다. 본 연구에서는 후향적 비교 연구방법으로 두뇌타이밍 능력이 낮은 초등학생들을 대상으로 상호작용식 메트로놈을 이용한 두뇌타이밍 훈련을 적용했을 때 읽기 능력의 향상 정도를 확인하고자 하였다. 이번 연구 결과를 통해 얻은 중요한 의의는 두뇌타이밍 능력이 낮은 학생들을 대상으로 상호작용식 메트로놈 훈련을 통한 읽기 능력의 효과성을 파악한 점과 발달적 특성과 상황에 맞게 상호작용식 메트로놈 훈련을 적용한 점이다.

첫째 두뇌타이밍 능력이 낮은 초등학생을 대상으로 상호작용식 메트로놈 훈련을 적용하여 읽기유창성과 이해력이 의미있게 향상되어 향후 타이밍 능력을 고려한 읽기 능력 향상 프로그램을 적용할 수 있는 근거를 마련하였다. Bonacina 등(2018)은 아동의 두뇌타이밍 능력과 읽기를 포함한 언어능력 관련 신경생리학적 반응의 관련성을 확인한 결과, 타이밍 능력이 우수하고 리듬에 일관성이 있는 아동의 신경생리학적 반응이 더 높게 나타났음을 보고하였고, 두뇌타이밍 훈련이 문해력, 읽기 능력을 높일 수 있다고 제안하였다. 또한 Woodruff Carr 등(2017)의 연구에서도 두뇌타이밍 훈련이 읽기에 어려움이 있는 청소년에게 치료적 중재로 제공될 수 있음을 보고하였다. 국내에서는 Gim, Shin, Jeong과 Jeon(2021)의 연구에서 초등학생에게 상호작용식 메트로놈 훈련을 적용하여 읽기유창성 능력이 향상되었음을 보고하였다. 특히 본 연구에서는 두뇌타이밍 능력이 낮은 초등학생들을 대상으로 두뇌타이밍 능력과 읽기 능력 향상의 결과를 확인할 수 있었다. 이는 두뇌타이밍 훈련을 통해 시각이나 청각정보에 대한 처리능력이 향상되었고 그에 따라 읽기 능력도 향상되었다고 사료된다.

두뇌타이밍이란 두뇌로 입력되는 다양한 감각정보들을 입력 순서에 따라 정확하고 빠르게 처리하는 시간정보처리(temporal processing) 능력이다(McGrew, 2013). 두뇌타이밍 중 밀리세컨드타이밍은 말소리의 음소를 인지하고 음소의 순서를 파악하고 정확한 음절을 인식하는 구어언어능력과 밀접한 관련이 있다. 밀리세컨드타이밍에 문제가 있으면 말소리의 최소단위인 음소 및 음절을 정확하게 인지하지 못하고 이러한 원인으로 언어발달과 읽기에 어려움이 생긴다. 선행 연구에서 시각과 청각에 대한 시간 정보처리 능력이 부족한 경우 읽기의 어려움, 언어 인지 결핍, 말소리 인지 능력 부족, 난독증 등의 문제가 있음을 보고하고 있다(Snell, Mapes, Hickman, & Frisina, 2002; Ahissar, Protopapas, Reid, & Merzenich, 2000). 두뇌타이밍 향상을 위한 상호작용식 메트로놈은 인간이 의식으로는 인지하기 어려운 밀리세컨드 단위의 시간으로 행동에 대한 시각, 청각적 피드백을 제공한다. IM 훈련을 통해 리듬을 인지하고 그 리듬에 몸동작을 맞추는 능력이 향상되는 것은 두뇌타이밍의 처리능력이 향상되었음을 의미하며 이것이 언어능력과 읽기 능력의 향상으로 이어지는 것이다(Woodruff Carr, Fitzroy, Tierney, White-Schwoch, & Kraus, 2017). 이는 여러 선행연구들의 결과가 뒷받침한다. IM 훈련을 통해 말하기와 읽기에 모두 어려움이 있는 초등학생들의 독서율, 유창성과 이해력이 향상되었으며(Ritter, Colson, & Park, 2013), 일반 초등학생들의 읽기 전단계 기술인 음운, 음운 인식, 유창성이 18-20% 향상되었으며 특히 IM 훈련 전 타이밍 능력이 낮은 아동일수록 큰 변화를 보였다(Taub,, McGrew, & Keith, 2007). 본 연구에서도 두뇌타이밍 훈련을 통한 타이밍 능력을 증진시키고, 이는 읽기 능력 향상에도 영향을 미치는 결과를 지지하였다.

둘째로 두뇌타이밍 능력이 낮은 초등학생들을 선별하여 학생들의 발달적 특성에 맞추어 매회 1000회-1500회의 자극에 반응하도록 하였다. 국내에서 아동 혹은 초등학생을 대상으로 상호작용식 메트로놈 훈련을 적용한 연구들은 대부분 12-15회기 이내로 단기간의 효과성을 검증하였다(Gim, Shin, Jeong, & Jeon, 2021; Gu, Kang, Lee, & Kim, 2017). 이는 IM의 지침과 교육에서 상호작용식 메트로놈의 효과를 얻을 수 있는 최소 기간에 대한 지침을 반영한 것으로 생각된다. 그러나 ADHD 아동들을 대상으로 한 Teicher(2019)의 연구에서는 75회기 이상의 훈련을 실시하여 뇌이미지 촬영을 통해 뇌영역간의 효율적인 연결과 동기화가 향상되었음을 확인하였다. 그리고 국내 일부 선행연구에서도 상호작용식 메트로놈 훈련의 장기간 적용한 효과를 검증하는 것이 필요하다고 하였다(Lee, 2019). 본 연구에서는 두뇌타이밍 능력을 촉진하기 위하여 초등학생들의 발달 특성에 부합한 프로토콜을 적용하여 70회기 이상의 지속적인 훈련을 실시하였고 이는 신경가소성에 따른 생리기전 촉진에 상당한 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. 이와 같은 결

과는 앞으로 상호작용식 메트로놈 훈련을 제한된 단기간 동안에만 적용하는 것이 아니라 아동특성에 따라 지속적인 적용의 필요성을 확인하였다는데 그 의의가 있다. 다만 장기간 아동에 대한 IM 중재를 시행할 때 연구자들간의 중재 원리의 일관성을 유지하면서 대상 아동에게 적절한 자극을 제공하기 위한 프로토콜은 지속적으로 개선할 필요가 있다.

본 연구의 제한점은 후향적 비교연구로 8명의 초등학생을 대상으로 하였기 때문에 연구의 결과를 일반화하기에는 제한점이 있다. 또한 상호작용식 메트로놈 훈련 전과 후 기간 사이에 반복측정이 이루어지지 않아 타이밍 능력과 읽기 능력 변화 추이를 파악하는데 제한이 있었다. 추후 연구에는 대조군이 있는 실험설계와 반복측정을 통하여 전향적 연구(prospective study)를 진행한다면 더 의미있는 결과를 제시할 것으로 사료된다. 그리고 신경생리학적 평가도 동시에 시행하여 신경가소성에 대한 근거를 마련할 수 있기를 기대한다.

Ⅴ. 결 론

본 연구에서는 초등학생을 대상으로 다양한 삶의 영역에 영향을 미치는 두뇌타이밍을 향상시키기 위한 방법으로 상호작용식 메트로놈을 적용한 후향적 비교연구이다. 그 결과 연구대상자들의 두뇌타이밍 능력과 읽기 능력이 향상되었음을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 국내에서 증가하고 있는 상호작용식 메트로놈 훈련 프로그램을 체계적이고 장기적으로 구성하는데 기여할 것으로 사료된다.

참고 문헌

Ahissar, M., Protopapas, A., Reid, M., & Merzenich, M. M. (2000). Auditory processing parallels reading abilities in adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 97*(12), 6832-6837. doi:10.1073/pnas.97.12.6832

Bang, K. B., & Kim, S. B. (2021). Neurophysiological mechanism and application of interactive metronome training principles. *Korean Journal of Sport Psychology, 32*(2), 147-165. doi:10.14385/kssp.32.2.147

Bonacina, S., Krizman, J., White-Schwoch, T., & Kraus, N. (2018). Clapping in time parallels literacy and calls upon overlapping neural mechanisms in early readers. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1423*(1), 338-348. doi:10.1111/NYAS.13704

Bressler, S. L., & Menon, V. (2010). Large-scale brain networks in cognition: Emerging methods and principles. *Trends in Cognitive Sciences, 14*(6), 277-290. doi:10.1016/J.TICS.2010.04.004

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. doi:10.1038/NRN1764

Bush, G. (2010). Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder and attention networks. *Neuropsychopharmacology, 35*(1), 278-300. doi:10.1038/NPP.2009.120

Cassily, J. F., & Jacokes, L. E. (2001). The interactive metronome: A new computer-based technology to measure and improve timing, rhythmicity, motor planning, sequencing and cognitive capabilities. *Paper Presented at The Infancy and Early Childhood Training Course, Advanced Clinical Seminar*, Arlington: Virginia.

Castellanos, F. X., & Proal, E. (2012). Large-scale brain systems in ADHD: Beyond the prefrontal-striatal model. *Trends in Cognitive Sciences, 16*(1), 17-26. doi:10.1016/J.TICS.2011.11.007

Fortin, C., Champagne, J., & Poirier, M. (2007). Temporal order in memory and interval timing: An interference analysis. *Acta Psychologica, 126*(1), 18-33. doi:10.1016/J.ACTPSY.2006.10.002

Gim, Y. J., Shin, M. H., Jeong, H. W., & Jeon, B. J. (2021). The effect of interactive metronome training on reading fluency in elementary students: A single case study. *Journal of Korean*

Academy of Sensory Integration, 19(2), 26-35. doi:10.18064/jkasi.2021.19.2.26

Greenspan, S. I. (1997). *The growth of the mind and the endangered origins of intelligence*. New York: Addison-Wesley Longma.

Gu, K., Kang, J., Lee, S., & Kim, K. M. (2017). Effects of interactive metronome intervention on behavior symptoms, timing, and motor function of children with ADHD. *Journal of Korean Academy of Sensory Integration, 15*(2), 35-45. doi:10.18064/jkasi.2017.15.2.035

Kim, D. I. (2000). *BASA: R (Basic academic skills assessment: Reading)*. Seoul: Hakjisa.

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. doi:10.1080/02640414.2015.1022570

Lee, K. W. (2019). *Effect of interactive metronome intervention to improve motor timing of children with developmental coordination disorder* (Master's thesis). The Graduate School Yonsei University, Seoul.

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. doi:10.1515/IJDHD.2010.043

Lewis, P. A., & Walsh, V. (2005). Time perception: Components of the brain's clock. *Current Biology, 15*(10), R389-R391. doi:10.1016/J.CUB.2005.05.008

Mauk, M. D., & Buonomano, D. V. (2004). The neural basis of temporal processing. *Annual Review of Neuroscience, 27*, 307-340. doi:10.1146/ANNUREV.NEURO.27.070203.144247

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

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. doi:10.1177/1525740112456422

Rommelse, N. N. J., Oosterlaan, J., Buitelaar, J., Faraone, S. V., & Sergeant, J. A. (2007). Time reproduction in children with ADHD and their nonaffected siblings. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry, 46*(5), 582-590. doi:10.1097/CHI.0B013E3180335AF7

Rubia, K., & Smith, A. (2004). The neural correlates of cognitive time management: A review. *Acta Neurobiologiae Experimentalis, 64*(3), 329-340.

Snell, K. B., Mapes, F. M., Hickman, E. D., & Frisina, D. R. (2002). Word recognition in competing babble and the effects of age, temporal processing, and absolute sensitivity. *Journal of the Acoustical Society of America, 112*(2), 720-727. doi:10.1121/1.1487841

Tallal, P. (1980). Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children. *Brain and Language, 9*(2), 182-198. doi:10.1016/0093-934X(80)90139-X

Tallal, P., & Stark, R. E. (1982). Perceptual/motor profiles of reading impaired children with or without concomitant oral language deficits. *Annals of Dyslexia, 32*(1), 163-176. doi:10.1007/BF02647960

Tallal, P., Miller, S. L., Jenkins, W. M., & Merzenich, M. M. (1997). The role of temporal processing in developmental language-based learning disorders: Research and clinical implications. In B. Blachman (Ed.), *Foundations of reading acquisition and dyslexia: Implications for early intervention* (pp. 49-66). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

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*(8), 849-863. doi:10.1002/pits.20270

Teicher, M. H. (2019). *White paper: Profound effects of interactive metronome and brain balance exercises on a subset of children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder*. McClean Hospital. https://www.interactivemetronome.com/wp-content/uploads/2019/09/Research_IM_ADHD_Harvard_Brain-Balance-and-IM_White-Paper2019.pdf

Wolff, P. H. (2002). Timing precision and rhythm in developmental dyslexia. *Reading and Writing, 15*(1-2), 179-206. doi:10.1023/A:1013880723925

Woodruff Carr, K., Fitzroy, A. B., Tierney, A., White-Schwoch, T., & Kraus, N. (2017). Incorporation of feedback during beat synchronization is an index of neural maturation and reading skills. *Brain and Language, 164*, 43-52. doi:10.1016/j.bandl.2016.09.005

Appendix 1. Example of one participant's Interactive Metronome training

Session	1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90	91~100
Test	LFA/SFA	SFA	SFA	SFA	SFA	SFA	SFA	SFA	SFA	SFA/LFA
Training program	**Both hands** - 200 Reps - Diff. 300/Tempo 54 - Guide sound off	**Both hands** - 200 Reps - Diff. 300/Tempo 54 - Guide sound off	**Both hands** - 300 Reps - Diff. 300/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Both hands** - 500 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Both hands** - 500 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Both hands** - 800 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Both hands** - 500 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Both hands** - 500 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Both hands** - 700 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Both hands** - 1000 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on
	Rt. hand - 200 Reps - Diff. 300/Tempo 54 - Guide sound off	**Rt. hand** - 200 Reps - Diff. 300/Tempo 54 - Guide sound off	**Rt. hand** - 200 Reps - Diff. 300/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Both toe** - 300 Reps - Diff. 200/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Both heel** - 100 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Rt. hand/Lt. toe** - 150 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Lt. hand/Rt. foot** - 250 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Lt. hand/Rt. foot & task** - 250 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Lt. hand/Rt. foot** - 250 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Both toe & task** - 500 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on
	Lt. hand - 200 Reps - Diff. 300/Tempo 54 - Guide sound off	**Lt. hand** - 200 Reps - Diff. 300/Tempo 54 - Guide sound off	**Lt. hand** - 200 Reps - Diff. 300/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Lt. heel** - 100 Reps - Diff. 200/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Rt. hand/Lt. toe** - 200 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Lt. hand/Rt. toe** - 150 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Rt. hand/Lt. foot** - 250 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Rt. hand/Lt. foot & task** - 250 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Rt. hand/Lt. foot** - 250 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	
	Both hands - 200 Reps - Diff. 300/Tempo 54 - Guide sound off	**Both hands** - 200 Reps - Diff. 300/Tempo 54 - Guide sound off	**Rt. toe** - 200 Reps - Diff. 300/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Rt. heel** - 100 Reps - Diff. 200/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Lt. hand/Rt. toe** - 200 Reps - Diff. 200/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Balance Rt. foot/Tap Lt. foot** - 200 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Both toe & task** - 250 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Both toe & task** - 250 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Rt. hand & balance board** - 300 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	
	Both hands - 200 Reps - Diff. 300/Tempo 54 - Guide sound off	**Rt. hand** - 200 Reps - Diff. 300/Tempo 54 - Guide sound off	**Lt. toe** - 200 Reps - Diff. 300/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Both heel** - 300 Reps - Diff. 200/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Balance Rt. foot/Tap Lt. foot** - 200 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Balance Lt. foot/Tap Rt. foot** - 200 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Both heel & task** - 250 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	Both heel & task - 250 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on		
		Lt. hand - 200 Reps - Diff. 300/Tempo 54 - Guide sound off	**Both toe** - 400 Reps - Diff. 300/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Rt. hand/Lt. heel** - 100 Reps - Diff. 200/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	**Balance Lt. foot/Tap** Rt. foot - 200 Reps - Diff. 100/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on					
				Lt. hand/Rt. heel - 100 Reps - Diff. 200/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on	Both toe - 100 Reps - Diff. 200/Tempo 54 - Auditory mode - Guide sound on					
Reps.	1000	1200	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500

Diff: Difficulty; Reps: Repetitions; Lt: Left; Rt: Right; LFA: Long Form Assessment; SFA: Short Form Assessment

Abstract

Effects of Brain-Timing Training on Reading Abilities: A Retrospective Comparative Study

Chung, Miyang*, M.A., O.T., Park, Ji Young*, O.T., Jung, Hyo Sim*,
Yoo, Yeon-Hwan*, M.Sc., O.T., Hong, Seung Pyo**, Ph.D., O.T.

*Korea Child Neurodevelopment Institute
**Dept. of Occupational therapy, Dongnam Health University

Objective : The purpose of this study was to investigate the effect of brain-timing training using an Interactive Metronome (IM) on the reading abilities of children with low brain-timing abilities.

Methods : A single-group pretest and posttest (retrospective study) were conducted in 8 children whose timing abilities were lower than that for their age average and who were trained from 2019 to 2021. Brain-timing training was conducted 2 or 3 times per week, with 70 sessions in total and 40-50 minutes per session, depending on the developmental characteristics of the child. Changes in brain-timing ability before and after the training were measured using the IM Long-Form Assessment (LFA), and reading ability was measured using the Basic Academic Skills Assessment:Reading (BASA:R).

Results : On the basis of the results of the brain-timing ability evaluation using the LFA, the reaction times of all the children during motor tasks were decreased, resulting in statistically significant improvements in their brain-timing abilities ($p < .05$). Moreover, the raw scores in the BASA:R reading and fill-in-the-blank tests were significantly improved ($p < .05$).

Conclusion : This study is meaningful in that it presents a clinical basis for brain-timing training to improve the reading abilities of children.

Key words : Brain-timing, Interactive metronome (IM), Reading ability, Basic Academic Skills Assessment: Reading (BASA:R)