



# Effects of Eye Movement Exercise on Cognitive Function and Prefrontal Cortex Connectivity for the Elderly with Mild Cognitive Impairment: An fNIRS Study

Miyoung Roh<sup>1</sup> and Taiseok Chang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Kookmin University

<sup>2</sup>Korea Institute of Sport Science

## Article Info

Received 2023.04.27.

Revised 2023.05.30.

Accepted 2023.06.16.

## Correspondence\*

Taiseok Chang

jaygoon@skku.edu

## Key Words

Eye movements exercise,  
Cognitive function,  
Connectivity,  
fNIRS,  
Mild cognitive impairment

이 논문은 2019년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-과제번호)(NRF-2019S1A5B5A07093149).

**PURPOSE** The purpose of this study was to examine the effects of an eye movement exercise intervention on cognitive function and prefrontal cortex connectivity in the elderly with mild cognitive impairment. **METHODS** Ten older adults with mild cognitive impairment participated in eye movement exercise consisting of saccadic eye movement, pursuit eye movement, vestibular-ocular eye movement, and vergence eye movement for 4 weeks. Cognitive function (MoCA-K), reaction time during stroop task, and prefrontal cortex connectivity were measured using the functional near-infrared spectrometric analyzer (fNIRS) before and after the intervention. **RESULTS** First, cognitive function of the elderly with mild cognitive impairment showed significant improvement after the eye movement exercise ( $p < .05$ ). Second, reaction time decreased significantly from 1.16 to 0.91 ms after eye movement exercise. Third, the strength of prefrontal cortex connectivity (left OFC - right FPC, right OFC - right FPC) increased after the intervention in the older adults with mild cognitive impairment. **CONCLUSIONS** The results of this study suggest that eye movement exercise is an effective intervention for improving cognitive function through improvement of brain functional connection in the elderly patients with mild cognitive impairment.

## 서론

경도인지장애(mild cognitive impairment, MCI)는 치매와 정상 노인의 중간단계로 기억력을 비롯한 여러 인지기능 장애를 보이며 일상생활을 영위하는 데 불편함이 없는 상태를 말하지만(Petersen, 2004), 치매로 진행될 확률이 매우 높은 치매 고위험군이다. 특히, 한국의 경우 2010년부터 고령화 문제가 심각해지면서 경도인지장애 환자 수도 매년 가파르게 상승하여 이후 5년간 4.3배 증가하였으며(National Health Insurance Service, 2015) 정상 노인의 경우 매년 1~2%가 치매(Petersen et al., 2001)에 걸리는 반면, 경도인지장애 환자는 10~15%가 치매(Busse et al., 2003)로 진행된다고 보고되고 있다. 따라서 최근 들어 치매 고위험군인 경도인지

장애를 대상으로 한 연구는 치매의 위험요인을 사전에 차단하고 조기 발견하여 예방하는 차원에서 주목받고 있다. 이에 인지 학습과 관련된 중재 프로그램의 효과성 검증연구(Kim et al., 2010; Han et al., 2008), 인지기능 관련 요인분석 연구(Kang et al., 2015)와 체계적 문헌고찰 연구(Park et al., 2017) 등 경도인지장애 노인의 치매 예방을 위한 인지기능 향상에 초점을 둔 연구들이 활발히 진행되고 있다.

최근 들어 인지기능을 향상시키는 효과적인 중재 기법의 하나로 심리 및 운동 재활 임상 분야에서는 양측성 안구운동(bilateral eye movement exercise)이 널리 활용되고 있다(Roh & Lee, 2019). 양측성 안구운동은 뇌의 기능과 밀접한 관련이 있는 눈의 움직임을 조절하여 뇌 활성화를 촉진하고 양반구간 기능적 연결을 증가시켜 인지기능을 향상시키는 새로운 중재기법으로 주목받고 있다(Fleck et al., 2018). 이러한 안구운동의 효과에 대한 초기 선행연구들은 EMDR(Eye Movement Desensitization and Reprocessing)를 활용해 외상 후 스트레스 장애를 치료하기 위한 심리치료가

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

법 연구(Bisson et al., 2007; Lee & Cuijpers, 2013)와 재인기억(recognition memory), 일화기억(episodic memory) 등 인지기능 향상에 대한 연구(Christman et al., 2003; Lee et al., 2012, 2016; Parker et al., 2008)들로 심리적, 인지적 측면에서의 안구운동의 긍정적 측면을 입증하였다. 또한, 안구운동의 신경생리학적 효과를 살펴본 결과, 뇌 활성화를 촉진하고(Nelles et al., 2009) 양반구간 연결성을 강화시키는(Fleck et al., 2018) 등의 연구 결과가 규명되면서 인지기능 향상의 신경학적 근거가 마련되었다. 하지만 지금까지의 선행연구들은 성인을 대상으로 한 연구들이 대부분이며, 신경생리학적 측면에서 안구운동의 효과를 규명하려는 연구는 여전히 미흡한 실정으로 성인보다 인지기능이 저하된 경도인지장애 노인에게 안구운동의 효과를 일반화하는 데 한계가 있다.

일반적으로 뇌 기능과 인지능력의 감소는 노화로 인해 가속화되고 이는 뇌의 앞쪽에서 뒤쪽 영역으로 점차 나타나기 때문에 전전두엽의 기능은 노화로 인해 가장 두드러지게 영향을 받는 영역이다(Eggenberger et al., 2016). 이에 노화에 따른 뇌의 구조적, 기능적 변화에 대한 생물학적 표지자(biomarker)를 규명하기 위한 연구들이 활발히 이루어지고 있다(Grady et al., 2006; Li et al., 2009; Niu et al., 2013; Yoon et al., 2019). 뇌의 신경학적인 변화를 관찰하는 방법으로 기능적 자기공명영상(functional magnetic resonance image, fMRI), 양전자방출 단층촬영(positron emission topography, PET), 뇌파(electroencephalogram, EEG), 그리고 기능적 근적외선 분광법(functional near-infrared spectroscopy, 이하 fNIRS) 등이 널리 활용되고 있다. 다른 뇌 영상 기구와 달리 fNIRS는 비침습적인 방법으로, 근적외선을 이용하여 전전두엽의 피질 영역의 혈액 내 산소 헤모글로빈의 농도 변화를 측정하여 전전두엽의 연결성(connectivity)을 통해 노화에 따른 전전두엽의 기능 변화를 효과적으로 살펴볼 수 있다. 구체적으로 선행연구를 살펴보면, Niu et al.(2013)은 fNIRS를 사용하여 경도인지장애 노인과 정상 노인의 전전두엽의 활성화 차이를 살펴본 결과, 작업기억 과제 시 경도인지장애 노인은 정상 노인과 비교해 전전두엽의 활성화가 감소하였으며 이러한 결과는 인지기능과 밀접한 연관이 있었다. 또한, 최근 Yeung & Chan(2020)는 체계적 문헌고찰 연구를 통해 fNIRS를 활용한 36편의 논문을 분석한 결과, 경도인지장애 노인과 치매 노인은 정상 노인보다 안정 시 전전두엽에서의 장거리(long-range) 뇌 기능적 연결성이 감소하였다고 보고하였다.

이처럼 많은 선행연구를 통해 fNIRS 장비가 인지장애에 대한 전전두엽의 기능을 평가하는 유용한 도구임이 입증되었다. 하지만 지금까지 노화로 인한 인지기능 저하를 분별하기 위한 fNIRS 연구가 주로 이루어졌으며 인지기능이 저하된 경도인지장애 노인을 대상으로 안구운동 중재 후 전전두엽의 기능 변화를 살펴본 연구는 거의 없었다. 최근에 경도인지장애 노인들에게서 안구운동을 통한 인지기능이 향상되었다는 결과가 보고되어(Roh & Lee, 2019), 안구운동이 뇌의 기능 및 인지기능을 향상시키고, 이러한 긍정적인 향상이 뇌의 기능에도 긍정적인 변화를 줄 것으로 사료 된다.

따라서 본 연구에서는 치매의 고위험군인 경도인지장애 노인을 대상으로 눈과 머리의 움직임을 활용한 양측성 안구운동 프로그램이 인지기능과 뇌의 기능에 어떠한 영향을 미치는지 살펴봄으로써, 뇌 기능 개선을 통한 인지기능 향상에 효과적인 새로운 운동방법에 대한 신경생리학적 측면에서의 과학적 근거를 제시하고자 한다.

**Table 1.** Characteristic subjects

(Mean±SD)

Variables	Male (n=3)	Female (n=5)
Age (years)	79.67 ± 1.15	71.00 ± 4.89
MoCA	19.33 ± 2.88	20.40 ± 1.67

## 연구방법

### 연구대상

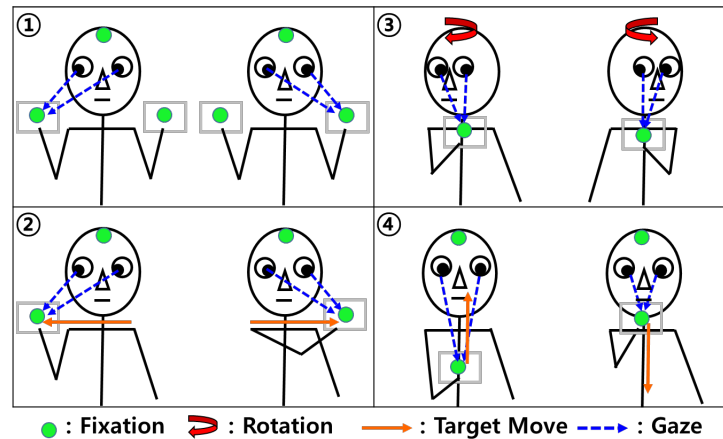
본 연구는 자발적으로 참여 의사를 밝힌 경도인지장애 노인들을 대상으로 진행하였다. 대상자 모집은 실험 시작 2주 전, 인천시 Y구 노인복지관에서 경도인지장애 판별검사인 한국판 몬트리올 인지평가 검사(Montreal Cognitive Assessment-Korea; MoCA-K)에 의해 경도인지장애 진단을 받은 노인 총 10명(MoCA-K 22점 이하)을 선정하였다. 모든 연구대상자는 최근 6개월간 뇌 질환 병력이 없는 대상으로 모집하였으며 청력의 정상 유무를 파악하기 위해 튜닝포크(turning port)를 활용하여 웨버와 린네 검사(Kelly et al., 2018)를 사용하였으며, 교정시력이 0.5 이상을 확인하기 위해 스넬렌 시력표(Snellen chart)를 사용하였다. 연구에 앞서 실험의 목적과 절차에 대해 충분히 설명한 후, 동의서 작성 후 실험을 진행하였다. 대상자 중 사후 검사를 받지 못한 2명을 제외한 총 8명(연령=74.25±5.84, 남자=3명, 여자=5명)의 자료를 최종 분석에 사용하였다. 연구대상자의 일반적 특성은 아래 <Table 1>과 같다.

### 안구운동 중재 프로그램

본 연구에 적용된 안구운동 프로그램은 Morimoto et al.(2011)가 제시한 안구운동에 기초하여 Roh & Lee(2019)가 노인에 맞게 재구성한 안구운동(oculo-motor exercises)과 시선안정화 운동(gaze stability exercises)을 기초로 구성되었다. Roh & Lee(2019)가 제시한 안구운동 프로그램은 단속성 안구운동(saccadic eye movement exercise), 추적 안구운동(pursuit eye movement exercise), 전정안구운동(estibulo-ocular reflex exercise), 이접안구운동(vergence eye movement exercise) 총 4개의 단계적 안구운동으로 구성되어 있다(Figure 1).

안구운동 프로그램의 전체적인 구성은 준비운동(10분), 안구운동(30분), 정리운동(10분)으로 1회 50분, 주 2회 4주간 총 8회를 실시하였다. 먼저 준비운동으로 안구의 긴장을 풀어주고 이완을 유도하기 위해 안구가동범위 운동(상하, 좌우, 대각선, 회전운동)을 실시하였다. 준비운동이 끝난 후, 단속성 안구운동, 추적 안구운동, 전정안구운동, 이접안구운동을 각 5분 동안 총 20분 실시하고 단계마다 약 2분 정도 휴식을 취하였다. 마지막으로 정리운동은 가벼운 스트레칭과 함께 안구운동으로 인한 눈의 피로를 해소하기 위한 안구 마사지를 실시하였다.

4개의 단계적 안구운동의 구체적인 내용은 다음과 같다. 단속성 안구운동은 대상자의 최대한 머리를 고정하고 눈 높이에서 약 30cm 거리를 두고 양손에 카드를 한 장씩 잡고, 오른쪽과 왼쪽을 점프하듯 번갈아 본다(Figure 1-1). 추적 안구운동은 대상자의 머리를 고정하고 동일한 거리에서 카드를 좌에서 우로, 우에서 좌로 이동



**Fig. 1.** 4 steps of eye movement exercises illustrations: 1) saccadic eye movement exercise, 2) pursuit eye movement exercise, 3) vestibulo-ocular reflex exercise, and 4) vergence eye movement exercise. Reprinted and adapted with permission from Ref. (Roh & Lee, 2019), Copyright © 2023 the Korean Society of Exercise Rehabilitation

시키면 눈으로 물체를 주시하며 천천히 따라본다(Figure 1-2). 전정 안구운동은 한 손에 카드를 잡고 정중앙에 위치시킨 상태에서 머리를 약 20~30° 정도 좌우로 살짝살짝 돌리면서 눈은 정면에 있는 물체만을 바라본다(Figure 1-3). 이접안구운동은 카드를 약 5cm 정도 가까운 지점에서 약 40cm 정도의 먼 지점으로, 또는 반대로 서서히 이동하면서 눈으로 물체를 주시하며 시선을 모아본다(Figure 1-4).

안구운동의 속도는 대상자의 수준을 고려하여 분당 25~35회(1회=한쪽 방향) 사이에서 천천히 시작하여 점차적으로 속도를 높이는 방향으로 진행하였으며 증재 첫 2주는 앉아서, 나머지 기간은 가볍게 선 상태에서 안구운동을 진행하였다. 증재 기간 중 어지러움이나 불편감을 느끼는 대상자가 없어 위 내용에 따라 진행되었다.

## 측정 도구 및 과제

안구운동 적용 전후 인지기능의 변화를 살펴보기 위하여 한국판 몬트리올 인지평가 도구와 스트룹 색상-단어 과제를 수행하였다. 또한, 안구운동 적용 전후 안정 시 전전두엽의 뇌 활성화 변화를 살펴보기 위하여 기능적 근적외선 분광법(fNIRS)을 사용하였다.

### 1. 한국판 몬트리올 인지평가(MoCA-K)

안구운동 적용 전후 인지기능의 변화를 살펴보기 위하여 Nasreddine et al.(2005)이 경도인지장애 노인을 선별하기 위해 개발된 MoCA(the Montreal Cognitive Assessment)를 Lee et al.(2008)가 한국어로 번안하여 타당화한 한국판 몬트리올 인지평가 검사(MoCA-K)를 사용하였다. MoCA-K는 치매 선별검사인 K-MMSE(Korean Mini Mental State Examination)(Kang et al., 1997)에서 부족한 전두엽과 집행기능 검사가 포함되어 있어 경도인지장애를 판별하는데 더욱 민감하며 간편하게 시행할 수 있는 인지 기능 검사이다. MoCA-K의 하위요인은 시공간/실행력(5점), 어휘력(3점), 주의력(6점), 문장력(3점), 추상력(2점), 기억력/지연회상력(5점), 지남력(6점)으로 모두 합한 총점은 30점이며, 학력이 6년 이하에 해당하면 1점을 더해해서 평가한다. 검사 결과, 23점 이상은 정상 노인, 22점 이하는 경도인지장애의 선별대상자로 분류된다.

### 2. 스트룹(stroop) 과제

안구운동 적용 전후 인지기능의 변화를 살펴보기 위하여 스트룹 색상-단어 검사(color-word stroop test)(Stroop, 1938)를 사용하여 반응시간을 측정하였다. 스트룹 색상-단어 검사는 빨강, 파랑 두개의 단어와 색으로 구성되어 있으며 컴퓨터 화면에 글자가 제시되면 문자에 상관없이 색깔을 누르는 과제로, 빨강은 왼쪽 버튼, 파랑은 오른쪽 버튼을 눌러 응답하는 과제이다. 본 과제는 색상과 단어 중 집중할 자극인 색상을 선택하여야 하며 익숙하고 자동화된 반응을 억제하는 능력이 필요한 검사이다(Ryou et al., 2022).

본 과제의 절차는 'XXXX' 표시를 시작으로 빨강과 파랑의 단어가 단어의 의미와 같은 색 또는 다른 색으로 랜덤하게 제시되고, 제시되는 단어와 상관없이 색상에 따라 왼쪽(빨강색) 또는 오른쪽(파랑색) 버튼을 누르도록 지시하였다. 본 과제는 총 54개 문항, 문항당 시간은 3.5초로 구성되었으며 본 측정 전 대상자가 숙지할 수 있도록 충분한 연습 기회를 제공하였다. 모든 응답에 대한 반응시간은 컴퓨터에 자동으로 저장되었으며 정답률과 반응시간은 평균으로 계산하여 분석에 사용하였다.

### 3. 기능적 근적외선 분광법(fNIRS)

안구운동 적용 전후 안정 시 전전두엽의 연결성의 변화를 살펴보기 위하여 본 연구에서 측정된 사전검사와 사후검사를 실시하기 전 3분 동안 fNIRS(Functional Near-Infrared Spectroscopy) 원리를 적용한 NIRSIT(OBELAB Inc, Seoul, Korea) 장비를 사용하여 측정하였다. fNIRS는 비침습적인 방법으로 근적외선을 이용하여 전전두엽의 피질 영역의 혈액 내 산소 헤모글로빈의 농도 변화를 측정할 수 있다(Bae et al., 2021). NIRSIT 장비의 기기 안쪽의 센서들은 780nm, 850nm 대역의 파장을 사용하였고, 8.138Hz의 샘플링 비율(sampling rate)로 설정하였다. 연구대상자의 전전두엽의 산소 헤모글로빈(HbO<sub>2</sub>)을 살펴보기 위하여 24개의 광원 수(light sources)와 32개의 검출기(detector), 그리고 전전두엽 피질 영역의 총 48개 채널별로 혈류량의 변화를 측정하였으며 48개 채널은 좌측과 우측 각각 4개 영역(배외측 전전두피질 = DLPFC, 복측부 전전두피질 = VLPFC, 안와 전두피질 = OFC, 전두극 전전두피질 = FPC), 총 8개의 브로드

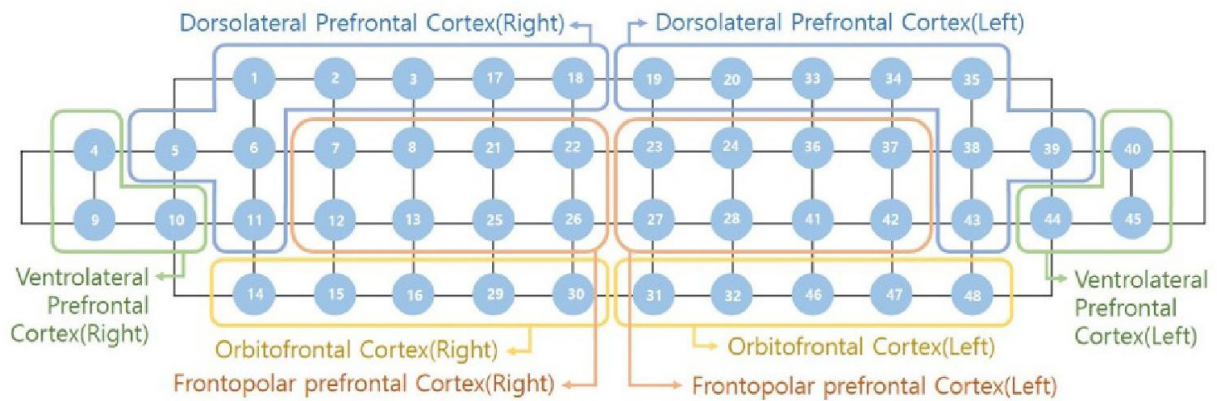


Fig. 2. fNIRS 48 channel and Brodmann's area

Group	Pre-test	Intervention	Post-test
MCI group	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cognitive function</li> <li>• Reaction time and correct answer</li> <li>• Prefrontal cortex connectivity</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Warm up (10 min)</li> <li>• Eye movement exercise (30 min)</li> <li>• Cool down (10 min)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cognitive function</li> <li>• Reaction time and correct answer</li> <li>• Prefrontal cortex connectivity</li> </ul>

Fig. 3. Process of research

만 영역(brodmann area)으로 구분하여 살펴보았다(Figure 2).

실험 절차

본 연구는 경도인지장애 노인을 대상으로 안구운동 적용 전후 인지 기능 및 뇌 활성화 변화를 살펴보기 위하여 2022년 9월 1일부터 10월 말일까지 사전검사, 안구운동 프로그램 적용(총 8회, 일주일 2회, 4주간), 그리고 사후검사를 실시하였다(Figure 3). 실험에 앞서 연구의 목적과 절차를 충분히 설명하고 동의를 얻은 후, 안구운동 적용 전과 후 2번의 측정을 실시하였다. 종속변인으로 MoCA-K, 반응시간과 전전두엽의 뇌 혈류량을 측정하였다. 안구운동 적용 전후 인지 기능의 차이를 비교하기 위해 MoCA-K와 스트룹 색상-단어 과제를 통해 반응시간을 측정하였다. 그리고 안구운동 적용 전후 전전두엽의 연결성의 차이를 살펴보기 위해 fNIRS를 활용하여 혈류량의 변화를 측정하였다. 안구운동 프로그램의 적용은 안구운동 전문가에게 4회차 세미나 교육을 받은 전문지도자가 진행하였으며 본 연구의 중재는 누구나 쉽게 따라할 수 있는 안구운동이지만 연구대상자가 고령자임을 감안하여 중재 내용을 잘 따라오고 있는지(예: 눈이 아닌 머리의 움직임이 나타나는지 등)를 수업 중 연구보조자 1명과 함께 개개인별로 점검하였다. 수업이 끝난 후, 매번 간단한 질의응답을 통해 안구운동의 수행 여부나 운동의 어려움 등을 점검하였으나 모두 안구운동을 실시하는 데 어려움이 없음을 확인할 수 있었다.

자료처리 및 통계분석

본 연구는 안구운동이 인지기능에 미치는 효과를 규명하기 위해 경도인지장애 노인을 대상으로 단일집단 사전-사후 실험설계를 사용

하였다. 실험에 참여한 10명의 대상자 중 사후 검사를 받지 못한 2명을 제외하고 8명의 자료가 최종 분석에 사용되었다. 자료 분석은 안구운동 적용 전과 후 측정된 인지기능과 반응시간의 차이를 비교하기 위하여 비모수 통계검정인 윌콕슨 부호순위 검정(Wilcoxon signed-rank test)을 사용하였다. 통계처리를 위해 SPSS version 25를 사용하였으며 종속변인의 평균과 표준편차를 표시하였고 통계적 유의수준은 .05로 설정하였다.

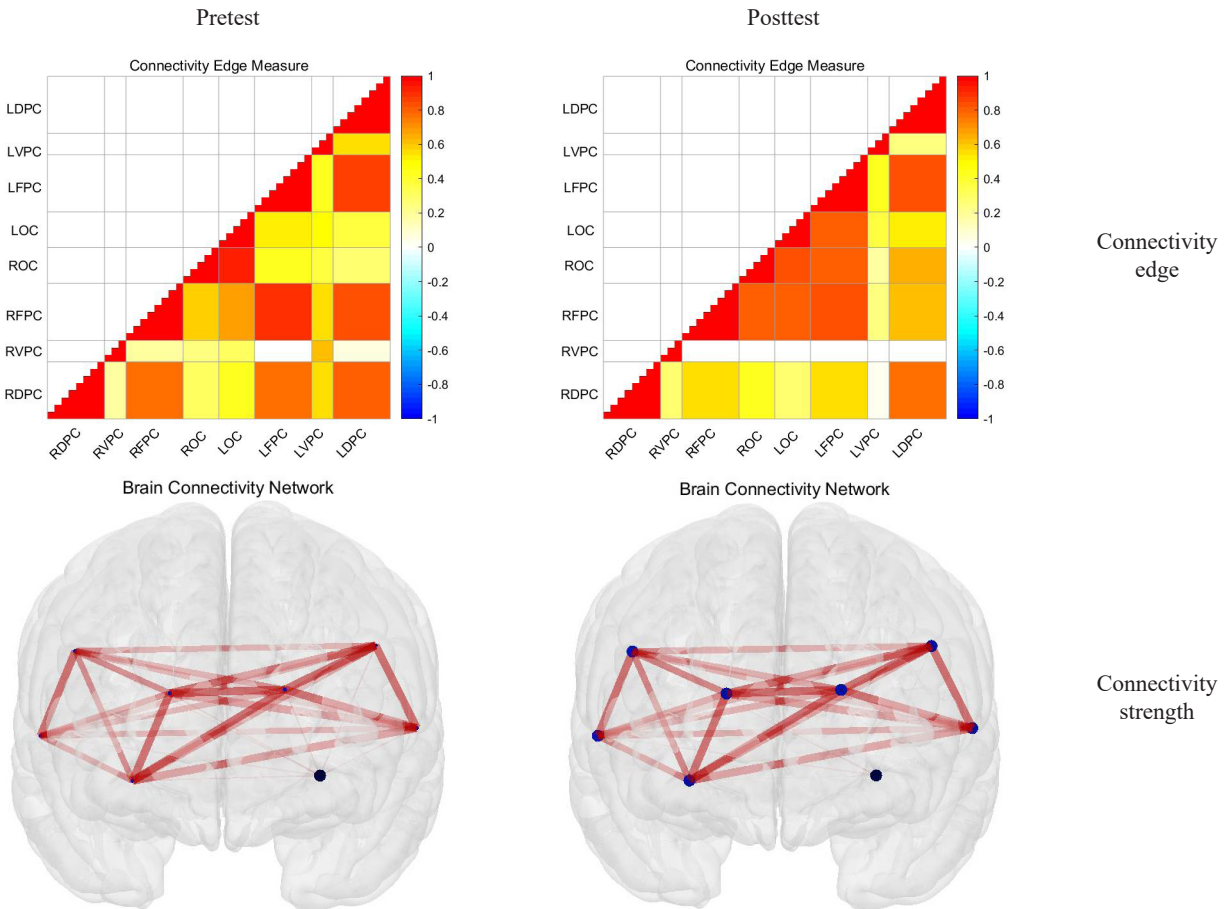
본 연구에서 안구운동 적용 전후 안정 시 fNIRS를 통해 산출된 전전두엽의 산소 헤모글로빈 값에 대한 분석은 다음과 같다. 데이터 수집 및 분석은 NIRXTI PC tool version 2.8과 NIRXTI Analysis tool version 3.7.5(NIRXTI, OBELAB Inc, Seoul, Korea)를 통해 수행되었다. fNIRS를 통해 측정된 원자료는 외부 노이즈를 최소화하기 위하여 0.005-0.1Hz의 band-pass filter로 필터링하였고, 추출된 데이터의 오류를 위해 낮은 수준의 채널(signal-to-noise ratio: SNR(30dB)은 제거되었다. block average 값이는 3cm 48개 채널로 각 대상자로부터 과제 수행 중 측정된 신호는 MBLL(modified Beer-Lambert Law) 법칙을 활용하여 산소 헤모글로빈의 변화량을 산출하였다. 시간적 흐름에 따른 변화를 시각화하여 살펴보기 위하여 activation mapping을 활용하여 전전두엽의 활성화 정도를 분석하였다.

또한, 브로드만 영역의 연결성(connectivity)을 알아보기 위하여 산출된 산소 헤모글로빈의 매개변수를 분석하여 기능적 연결성을 분석하였다. 연결성은 모든 채널 간 사이의 혈류역학의 시간적 상관관계의 강도를 사용하여 분석하였으며, 이후 전전두엽 상관계수를 사용하여 밀도(density), 클러스터링계수(clustering coefficient), 효율성(efficiency)을 포함한 네트워크 측정값을 추출하여 분석을 진행하였다.

**Table 2.** Changes in variables for the elderly with mild cognitive impairment (Mean±SD)

Variables	Pretest	Posttest	Negative rank			Positive rank			z	p
	M (SD)	M (SD)	N	Mean rank	Sum of ranks	N	Mean rank	Sum of ranks		
Cognitive function	20.00 (2.07)	24.88 (3.04)	0	.00	.00	8	4.50	36.00	-2.527	.012*
Reaction time (ms)	1.16 (0.33)	0.91 (0.28)	7	4.71	33.00	1	3.00	3.00	-2.100	.036*
Correct answer (%)	95.13 (10.18)	98.38 (3.88)	1	2.00	2.00	4	3.25	13.00	-1.511	.131

\*p<.05



**Fig. 4.** Correlation between prefrontal cortex areas during resting state (left = pretest, right = posttest, top = connectivity edge, bottom = connectivity strength). In top graph, y-axis of value = correlation coefficient (-1 ~ +1).

## 연구결과

### 안구운동 적용 후 인지기능의 변화

경도인지장애 노인을 대상으로 안구운동 참여 전후 인지기능의 차이를 살펴보기 위하여 Wilcoxon 부호순위 검정을 실시하였다(Table 2). 그 결과, 안구운동 적용 후 경도인지장애 노인의 인지기능에 유의한 차이를 보였으며( $z=-2.527, p<.05$ ), 음의 순위보다 양의 순위가 더 높게 나타나 사전점수(20.00)보다 사후점수(24.88)가 유의하게 증가하였음을 알 수 있었다.

### 안구운동 적용 후 반응시간의 변화

경도인지장애에 노인을 대상으로 안구운동 적용 전후 반응시간과 정답률의 차이를 살펴보기 위하여 Wilcoxon 부호순위 검정을 실시하였다 (Table 2). 그 결과, 안구운동 적용 후 경도인지장애 노인의 반응시간에 유의한 차이를 보였으며( $z=-2.100, p<.05$ ), 양의 순위보다 음의 순위가 더 높게 나타나 안구운동 적용 전 반응시간(1.16초)보다 안구운동 적용 후 반응시간(0.91초)이 유의하게 감소하였음을 알 수 있었다. 또한, 안구운동 적용 전후 반응시간에 대한 정답률의 차이를 살펴본 결과, 95.13%에서 98.38%로 향상되었지만 유의한 차이를 보이지 않았다.

## 안구운동 적용 후 전전두엽 연결성 변화

Figure 4(위)은 전전두엽의 좌우 8개의 브로드만으로 나눠 Pearson의 상관계수 값을 사용하여 기능적 연결성을 분석한 것이다. 사전 결과를 살펴보면 좌측 전두극 전전두피질(LFPC)-우측 전두극 전전두피질(RFPC), 좌측 전두극 전전두피질(LFPC)-좌측 배외측 전전두피질(LDFC) 영역에서 강한 결성이 나타났으며, 우측 배외측 전전두피질(RDFC)-우측 전두극 전전두피질(RFPC), 좌측 전두극 전전두피질(LFPC)-우측 배외측 전전두피질(RDFC), 좌측 배외측 전전두피질(LDFC)-우측 배외측 전전두피질(RDFC) 영역에서도 연결성이 확인되었다. 사후 결과를 살펴보면 사전과 동일하게 좌측 전두극 전전두피질(LFPC)-우측 전두극 전전두피질(RFPC), 좌측 전두극 전전두피질(LFPC)-좌측 배외측 전전두피질(LDFC) 영역에서의 연결성이 강하게 나타났으며, 추가적으로 좌측 안와 전두피질(LOC)-우측 전두극 전전두피질(RFPC), 우측 안와 전두피질(ROC)-우측 전두극 전전두피질(RFPC) 영역에서 사후에 연결성이 강하게 나타나는 것으로 나타났다.

좌우 브로드만 영역 간의 연결성의 강도를 분석하여 시각화 한 것은 다음 Figure 4(아래)와 같다. 그림에서와 같이 사전에 비해 경도 인지장애 노인의 안구운동을 참여한 사후에 각각의 영역 간에 연결성의 강도가 높아진 것을 확인할 수 있다.

## 논의

심리 및 운동 재활 분야에서는 안구운동 프로그램이 인지기능 향상에 효과적이라는 연구 결과를 일관되게 보고하고 있다(Fleck et al., 2018; Parker et al., 2008; Roh & Lee, 2019). 게다가 안구운동이 뇌의 활성화를 촉진시키고(Nelles et al., 2009) 양반구간 연결성을 강화시키는(Fleck et al., 2018) 연구 결과를 통해 인지기능 향상의 신경학적 근거가 마련되었다. 하지만 대부분의 연구는 성인을 대상으로 한 결과이며 신경생리학적 측면에서의 안구운동의 효과를 규명하려는 시도는 여전히 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 치매의 고위험군인 경도인지장애 노인에게 4주간의 안구운동 프로그램을 적용한 후, 인지기능과 전전두엽 뇌 기능적 연결성에 미치는 효과를 검증하고자 하였다. 본 연구에서 도출된 연구 결과를 토대로 구체적인 논의는 다음과 같다.

안구운동 프로그램에 참여 후, 스트룹 과제 시 경도인지장애 노인의 반응시간은 유의하게 감소하였다. 즉 안구운동 참여 전보다 적용 후 주의력을 측정하는 스트룹 간섭 과제 동안 반응시간이 유의하게 감소되어 경도인지장애 노인의 주의력이 향상되었음을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 경도인지장애 노인을 대상으로 안구운동이 반응시간에 미치는 효과를 살펴본 선행연구가 미흡하여 직접적으로 비교하여 논의하기 한계가 있지만, 안구운동이 장애아동의 주의력 향상(Kim & Lee, 2020)에 효과적이라는 선행연구 결과와 간접적으로 일치하는 결과였다. Kim(2021)은 정상 노인과 경도인지장애 노인의 인지기능 차이를 규명하기 위하여 다양한 인지 과제를 실시하여 비교 분석한 결과, 스트룹 과제 수행 시 두 집단 간 중간 정도의 효과 크기로 유의한 차이를 보인다고 보고하였다. 위 선행연구의 결과에 비추어 볼 때, 안구운동의 중재 효과로 정보처리 과정의 결핍이 있는 경도인지장애 노인의 빨라진 반응시간이 나타난 것은 정보처리 능력에 긍정적인 영향을 미친 결과로 해석될 수 있다. 따라서 본

연구를 통해 안구운동이 주의력이 저하된 경도인지장애 노인의 정보처리 과정을 촉진하여 반응시간의 속도를 향상시키는데 긍정적인 영향을 줄 수 있다는 가능성을 확인할 수 있었다.

안구운동 프로그램에 참여 후, 경도인지장애 노인의 인지기능은 유의하게 증가하였다. 그리고 안구운동 참여 전보다 참여 후에 경도인지장애 노인의 전전두엽의 뇌 연결성의 강도가 높아졌다. 이러한 결과는 안구운동이 인지기능 향상에 효과가 있다는 선행연구(Christman et al., 2003; Lee et al., 2016; Parker et al., 2008)와 일치하는 결과였다. 또한, 정상 노인과 경도인지장애 노인을 대상으로 안구운동 프로그램이 그들의 인지기능 향상에 효과가 있음을 입증한 Roh & Lee(2019)의 연구 결과를 지지하는 것이었다. Jung & Kim(2016)의 안구 움직임과 인지기능의 관련성에 대한 체계적 고찰 연구에서도 두 변인 간 관련성이 유의미한 상관성이 있으며 이는 안구운동이 뇌의 양 반구 활성화에 도움을 주어 인지기능 향상에 효과적임을 보고하였다. 특히, 본 연구에서 인지기능 점수가 안구운동 참여 후 사전점수 20점에서 사후 점수는 정상 노인 범위인 23점 이상인 24.9점으로 유의하게 향상되었다. 따라서 본 연구를 통해 안구운동이 치매 고위험군인 경도인지장애 노인의 인지기능 향상을 촉진하여 치매 예방에 효과적이라는 것을 다시 한번 입증할 수 있었다.

본 연구에서 측정된 인지기능의 하위요인은 시공간/실행력, 어휘력, 주의력, 문장력, 추상력, 기억력/지연회상력, 지남력으로 구성되어 있으며 특히, 측정 항목에 전두엽과 집행기능 평가항목을 다수 포함하고 있어 노인의 경도인지장애와 전전두엽의 기능장애를 평가하는데 유용한 도구이다(Kwak & Kim, 2021). 본 연구에서는 이러한 인지기능의 긍정적인 향상의 결과가 전전두엽 뇌의 기능에도 긍정적인 변화를 줄 것이라는 가정하에 fNIRS를 활용하여 안구운동 적용 전후 뇌의 기능적 연결성을 살펴보았다. 그 결과, 안구운동 적용 전보다 적용 후 경도인지장애 노인의 전전두엽 연결성의 강도(좌측 OFC-우측 FPC, 우측 OFC-우측 FPC)가 높아진 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 경도인지장애 노인을 대상으로 안구운동 적용 후 전전두엽의 뇌 기능적 연결성의 변화를 살펴본 기존 연구가 미흡하여 선행연구와 직접적인 비교하기 어렵지만, 왼쪽과 오른쪽으로 움직이는 연속적인 양측성 안구의 움직임(bilateral eye movements) 중에 뇌의 양반구간 기능적 연결성이 향상되었음을 규명한 Fleck et al.(2018)의 연구 결과를 간접적으로 지지하는 결과였다.

게다가 본 연구 결과에서 주목할만한 점은 안구운동 참여 후 전전두피질의 안쪽(inferior) 영역인 FPC와 OFC에서 더욱 강한 연결성이 나타났다는 것이다. 이는 전전두피질의 위치에 따른 기능의 차이로 설명할 수 있는데 안구운동이 다양한 인지적 처리 과정과 기억 인출(memory retrieval)에 관여하는 뇌의 전두엽에 있는 안쪽 전전두피질 영역인 FPC와 OFC의 연결성 향상을 촉진한 것으로 사료된다. 그리고 대뇌변연계 측두엽에 자리한 해마는 기억의 저장과 인출을 관장하는 영역인데 해마와 안쪽 전전두피질은 서로 정보를 주고받으며 특히 안쪽 전전두피질은 해마에서 전달되는 기억 정보를 더욱 공고화하여 기억을 인출할 때 효율적으로 기억 정보가 활용될 수 있도록 보조적인 역할을 하므로 다양한 인지기능을 수행하는데 중요한 영역이다(Dobbins et al., 2002; Fjell et al., 2015). 따라서 본 연구는 기존 연구들에서 규명되었던 안구운동 중재 프로그램 참여 후 인지기능의 향상을 보고하였으며 뿐만 아니라 기억 인출과 같은 인지기능과 관련이 높은 안쪽 전전두피질로 구분되는 영역에서 더욱 뇌의 기능적 연결성이 향상되었음을 규명함으로써, 뇌 기능 개

선을 통한 인지기능 향상에 효과적인 안구운동 프로그램에 대한 신경생리학적 측면에서의 과학적 근거를 입증하였다는 점에서 연구의 의미가 있다.

Writing-original draft: MY Roh; Writing-review&editing: TS Chang

## 결론 및 제언

본 연구에서는 안구운동 프로그램이 경도인지장애 노인의 인지기능 향상과 전전두엽 뇌의 기능적 연결성에 미치는 효과를 규명하였다. 연구 결과를 종합해보면 다음과 같다. 첫째, 안구운동 적용 후 경도인지장애 노인의 인지기능에 유의한 향상을 보였다. 둘째, 안구운동 적용 후 반응시간은 유의하게 감소하였다. 셋째, 안구운동 적용 전보다 적용 후 경도인지장애 노인의 전전두엽 연결성의 강도가 높아진 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 도출된 결과는 경도인지장애 노인의 인지기능 향상 프로그램을 개발할 때 신경생리학적 측면에서의 과학적 근거 기반의 기초 자료로 제공될 수 있을 것이다. 이와 같은 연구 결과를 토대로 후속 연구자를 위한 제언은 다음과 같다.

첫째, 본 연구는 뇌 기능 개선을 통한 인지기능 향상에 효과적인 안구운동 프로그램의 효과를 검증하기 위하여 경도인지장애 노인 단일 집단 사전-사후 실험설계로 진행되었다. 또한, 안구운동 사전-사후 2번의 검사로 중재의 효과를 규명하였다. 이에 추후 연구에서는 단일군 실험연구보다 중재의 효과를 정확하게 평가할 수 있는 무작위 비교연구(Randomized Controlled Trial, RCT) 실험설계를 활용하고 사후 검사 후 파지검사를 실시함으로써, 프로그램 효과의 타당성을 확보할 필요가 있다. 또한, 안구운동이 필요한 다양한 대상자(예: 집중력이 떨어지는 아동, ADHD 아동, 치매 노인 등)에게 확대 적용한다면 학문 및 현장 활용 측면에서 가치가 있을 것으로 사료 된다.

둘째, 본 연구에서 활용된 안구운동 중재 프로그램은 4가지 단계적 안구운동으로 구성하였다. 이에 추후 연구에서는 각각의 안구운동의 개별적인 효과를 규명한다면 인지기능 향상을 위한 프로그램을 개발할 때 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

마지막으로 본 연구에서는 안구운동의 신경생리학적 효과를 규명하기 위해 안정 시 전전두엽 뇌의 기능적 연결성에 초점을 맞추어 살펴봐왔다. 추후 연구에서는 노화와 연관이 높은 인지기능을 세분화하여 뇌의 연결성과의 상관을 살펴보기 위해 다양한 인지 과제 수행 시(예: 작업과제 측정을 위한 n-back task) 나타나는 뇌의 활성화 및 연결성의 정도를 측정하여 안구운동의 구체적인 효과를 확인할 필요가 있을 것이다.

## CONFLICT OF INTEREST

논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

## AUTHOR CONTRIBUTION

Conceptualization: MY Roh; Data curation: MY Roh & TS Chang; Formal analysis: TS Chang; Funding acquisition: MY Roh; Methodology: MY Roh & TS Chang; Project administration: MY Roh; Visualization: MY Roh;

## 참고문헌

- Bae, J., Lee, S., & Chang, T. (2021). The effect of bilaterality eye movement of EMDR on the athlete's anxiety: Study of fNIRS. *Korean Journal of Sport Psychology*, 32(3), 107-123.
- Bisson, J. I., Ehlers, A., Matthews, R., Pilling, S., Richards, D., & Turner, S. (2007). Psychological treatments for chronic post-traumatic stress disorder: Systematic review and meta-analysis. *The British Journal of Psychiatry*, 190(2), 97-104.
- Busse, A., Bischof, J., Riedel-Heller, S. G., & Angermeyer, M. C. (2003). Mild cognitive impairment: Prevalence and incidence according to different diagnostic criteria: Results of the Leipzig longitudinal study of the aged (LEILA75+). *The British Journal of Psychiatry*, 182(5), 449-454.
- Christman, S. D., Garvey, K. J., Propper, R. E., & Phaneuf, K. A. (2003). Bilateral eye movements enhance the retrieval of episodic memories. *Neuropsychology*, 17(2), 221-229.
- Dobbins, I. G., Foley, H., Schacter, D. L., & Wagner, A. D. (2002). Executive control during episodic retrieval: Multiple prefrontal processes subserve source memory. *Neuron*, 35(5), 989-996.
- Eggenberger, P., Wolf, M., Schumann, M., & de Bruin, E. D. (2016). Exergame and balance training modulate prefrontal brain activity during walking and enhance executive function in older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 8, 66.
- Fjell, A. M., Sneve, M. H., Grydeland, H., Storsve, A. B., de Lange, A.-M. G., Amlie, I. K., ... & Walhovd, K. B. (2015). Functional connectivity change across multiple cortical networks relates to episodic memory changes in aging. *Neurobiology of Aging*, 36(12), 3255-3268.
- Fleck, J. I., Olsen, R., Tumminia, M., DePalma, F., Berroa, J., Vrabel, A., & Miller, S. (2018). Changes in brain connectivity following exposure to bilateral eye movements. *Brain and Cognition*, 123, 142-153.
- Grady, C. L., Springer, M. V., Hongwanishkul, D., McIntosh, A. R., & Winocur, G. (2006). Age-related changes in brain activity across the adult lifespan. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(2), 227-241.
- Han, J. H., Ko, S. G., Kwon, J. H., Jo, I. H., Ahn, S. M., Han C. S., & Park, M. H. (2008). Efficacy of a Multifactorial Cognitive Ability Enhancement Program in MCI (Mild Cognitive Impairment). *The Korean Journal of Clinical Psychology*, 27(4), 805-821.
- Jung, H.-I., & Kim, J.-B. (2016). A systematic review on the relationship of saccadic eye movements and cognition. *Therapeutic Science for Neurorehabilitation*, 5(2), 49-55.
- Kang, Y., Na, D.-L., & Hahn, S. (1997). A validity study on the Korean Mini-Mental State Examination (K-MMSE) in dementia patients. *Journal of the Korean Neurological Association*, 15(2), 300-308.
- Kang, Y., Whang, S. A., & Park, K. (2015). Reversion to normal cognition and its correlates among the community-dwelling elderly with mild cognitive impairment: The longitudinal cohort study. *Korean Journal of Adult Nursing*, 27(6), 656-664.
- Kelly, E. A., Li, B., & Adams, M. E. (2018). Diagnostic accuracy of tuning fork tests for hearing loss: A systematic review. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 159(2), 220-230.
- Kim, H.-S., Yi, Y.-J., Park, K.-H., Kang, U.-K., & Lee, B. (2010). Effects of cognition promoting program on cognitive function, depression and quality of life in elderly. *The Journal of the Korea Contents Association*, 10(8), 227-239.
- Kim, Y. (2021). A comparative study of cognitive function in the elderly with no cognitive impairment, mild cognitive impairment, and severe cognitive impairment. *Journal of Cognitive Enhancement and Intervention*, 12(1), 127-144.
- Kim, Y.-G., & Lee, H.-Y. (2020). Effects of computer-based attention program with eye movement for disabled children: Case series. *Korean Journal of Occupational Therapy*, 28(2), 53-67.
- Kwak, H.-S., & Kim, S.-H. (2021). The normative study of the Montreal Cognitive Assessment-Korea (MoCA-K) as instrument for screening of Mild Cognitive Impairment (MCI). *Journal of the Korean Society of Integrative Medicine*, 9(3), 37-45.
- Lee, B.-R., Kim, J.-W., Kwon, S.-W., Kwon, H.-C., Kim, K.-W., Kim, M.-Y., ... & Lim, S.-H. (2012). The influence of bilateral eye movement on recognition memory task performance. *Journal of Korean Neuropsychiatric Association*, 51(5), 335-341.
- Lee, C. W., & Cuijpers, P. (2013). A meta-analysis of the contribution of eye movements in processing emotional memories. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 44(2), 231-239.
- Lee, J.-Y., Lee, D. W., Cho, S.-J., Na, D. L., Jeon, H. J., Kim, S.-K., ... & Cho, M. J. (2008). Brief screening for mild cognitive impairment in elderly outpatient clinic: Validation of the Korean version of the Montreal cognitive assessment. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, 21(2), 104-110.
- Lee, N.-H., Kim, J.-W., Im, W.-Y., Lee, S.-M., Lim, S., Kwon, H., ... & Kim, S.-J. (2016). The effect of bilateral eye movements on face recognition in patients with schizophrenia. *Korean Journal of Psychosomatic Medicine*, 24(1), 102-108.
- Li, C., Zheng, J., Wang, J., Gui, L., & Li, C. (2009). An fMRI stroop task study of prefrontal cortical function in normal aging, mild cognitive impairment, and alzheimer's disease. *Current Alzheimer Research*, 6(6), 525-530.
- Morimoto, H., Asai, Y., Johnson, E. G., Lohman, E. B., Khoo, K., Mizutani, Y., & Mizutani, T. (2011). Effect of oculo-motor and gaze stability exercises on postural stability and dynamic visual acuity in healthy young adults. *Gait & Posture*, 33(4), 600-603.
- Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., ... & Chertkow, H. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: A brief screening tool for mild cognitive impairment. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53(4), 695-699.
- National Health Insurance Service (2015). [Press release] *Mild*



*cognitive impairment increased 4.3 times over 5 years.*

Gangwon: Author.

- Nelles, G., Pscherer, A., de Greiff, A., Forsting, M., Gerhard, H., Esser, J., & Diener, H. C. (2009).** Eye-movement training-induced plasticity in patients with post-stroke hemianopia. *Journal of Neurology*, 256(5), 726-733.
- Niu, H.-J., Li, X., Chen, Y.-J., Ma, C., Zhang, J.-Y., & Zhang, Z.-J. (2013).** Reduced frontal activation during a working memory task in mild cognitive impairment: A non-invasive near-infrared spectroscopy study. *CNS Neurosciences & Therapeutics*, 19(2), 125-131.
- Park, S., Lee, J.-S., Lee, K.-W., Choi, W.-S., & Kim, J.-R. (2017).** A systematic review of effects of cognitive rehabilitation therapy for community dwelling adults with early dementia or mild cognitive impairment. *The Journal of Korean Society of Cognitive Rehabilitation*, 6(1), 39-63.
- Parker, A., Relph, S., & Dagnall, N. (2008).** Effects of bilateral eye movements on the retrieval of item, associative, and contextual information. *Neuropsychology*, 22(1), 136-145.
- Petersen, R. C. (2004).** Mild cognitive impairment as a diagnostic entity. *Journal of Internal Medicine*, 256(3), 183-194.
- Petersen, R. C., Doody, R., Kurz, A., Mohs, R. C., Morris, J. C., Rabins, P. V., ... & Winblad, B. (2001).** Current concepts in mild cognitive impairment. *Archives of Neurology*, 58(12), 1985-1992.
- Roh, M., & Lee, E. (2019).** Effects of gaze stability exercises on cognitive function, dynamic postural ability, balance confidence, and subjective health status in old people with mild cognitive impairment. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 15(2), 270-274.
- Ryou, Y.-J., Hong, C.-H., & Shin, S.-W. (2022).** The effect of  $\alpha$  and SMR enhancing neurofeedback training on cognitive function and emotion in a normal elderly population. *Counseling Psychology Education Welfare*, 9(1), 7-28.
- Stroop, J. R. (1938).** Factors affecting speed in serial verbal reactions. *Psychological Monographs*, 50(5), 38-48.
- Yeung, M. K., & Chan, A. S. (2020).** Functional near-infrared spectroscopy reveals decreased resting oxygenation levels and task-related oxygenation changes in mild cognitive impairment and dementia: A systematic review. *Journal of Psychiatric Research*, 124, 58-76.
- Yoon, J. A., Kong, I. J., Choi, J. K., Baek, J. Y., Kim, E. J., Shin, Y.-I., ... & Shin, M. J. (2019).** Neural compensatory response during complex cognitive function tasks in mild cognitive impairment: A near-infrared spectroscopy study. *Neural Plasticity*, 2019, 7845104.

# 안구운동 프로그램이 경도인지장애 노인의 인지기능과 전전두엽 연결성에 미치는 영향: fNIRS 연구

노미영<sup>1</sup>, 장태석<sup>2</sup>

<sup>1</sup>국민대학교, 조교수

<sup>2</sup>한국스포츠정책과학원, 연구위원

[목적] 본 연구는 안구운동 프로그램이 경도인지장애 노인의 인지기능과 전전두엽 연결성에 미치는 효과를 살펴보는 데 있었다.

[방법] 이를 위하여 자발적인 연구 참여 의사가 있는 경도인지장애 노인 10명을 대상으로 4주간 안구운동 프로그램(단속성 안구운동, 추적안구운동, 전정안구운동, 이접안구운동)을 시행하였다. 대상자 중 사후 검사를 받지 못한 2명을 제외한 총 8명의 경도인지장애 노인의 인지기능 및 반응기와 근적외선 분광분석기(fNIRS)를 활용하여 반응시간과 전전두엽의 연결성을 측정하여 안구운동 프로그램의 신경생리학적 효과를 검증하였다.

[결과] 첫째, 안구운동 적용 후 경도인지장애 노인의 인지기능에 유의한 향상을 보였다( $p < .05$ ). 둘째, 안구운동 적용 전 반응시간 1.16초에서 안구운동 적용 후 0.91초로 유의하게 감소하였다. 셋째, 안구운동 적용 전보다 적용 후 경도인지장애 노인의 전전두엽 연결성의 강도(좌측 OFC-우측 FPC, 우측 OFC-우측 FPC)가 높아진 것을 확인할 수 있었다.

[결론] 본 연구의 결과를 토대로 안구운동 프로그램이 인지기능이 저하된 경도인지장애 노인의 뇌 기능 개선을 통한 인지기능 향상에 효과적인 중재 프로그램임을 입증할 수 있었다.

## 주요어

안구운동, 인지기능, 연결성, fNIRS, 경도인지장애