

# Comparison of Usability and Prefrontal Cortex Activity of Cognitive-Motor Training Programs using Sensor-Based Interactive Systems

Jihye Jung<sup>a</sup> and Seungwon Lee<sup>a,b\*</sup>

<sup>a</sup>Institute of SMART Rehabilitation, Sahmyook University

<sup>b</sup>Department of Physical Therapy, College of Health and Welfare, Sahmyook University

**Objective:** Cognitive-motor trainings had a positive impact on cognitive function and dual-task trainings led to improvements of global cognitive function. The brain activity of the prefrontal cortex (PFC) is another indicator that can infer cognitive function. This study aims to confirm the usability of the interactive system cognitive-motor training program and the changes in the prefrontal cortex through training.

**Design:** Cross-sectional study

**Methods:** In this study, two cognitive tasks were randomly applied to 20 adults as cognitive-motor training using an interactive system, and the same task was performed using the original method. During all tasks, the brain activity of the prefrontal cortex was measured by the change in oxyhemoglobin (HbO) in real-time using Functional Near-Infrastructure. After performing the tasks, the usability of the developed interactive system was evaluated by a usability questionnaire which consists of five items, and each item consists of a 7-point Likert scale that responds from 1 point to 7 points.

**Results:** The HbO levels were increased during cognitive task performance than at the resting phase. And evaluating the usefulness of the interactive system, a questionnaire result showed that it would be useful for cognitive-motor programs.

**Conclusions:** The cognitive-motor training using the interactive system increased the activity of the prefrontal cortex, and the developed wearable sensor-based interactive system confirmed its usefulness.

**Key Words:** Cognition, Exercise, Prefrontal cortex, Oxyhemoglobin, Usability, Interactive system

## 서론

세계적인 고령화 추세에 따라 노화로 인한 인지능력 저하와 치매발생은 공중보건체계에서 경제적 부담을 가중시키는 결과를 초래한다[1, 2]. 또한 인지능력의 개선은 의료비절약과 환자 및 보호자의 삶의 질 개선을 위해서도 필요하다. 인지능력은 지속적인 인지훈련으로 향상시킬 수 있으며 단일과제보다 이중과제 훈련 프로그램이 인지개선에 효과적이다[3, 4]. 인지-운동 이중과제 훈련은 신체움직임을 함께 적용하여 인지능력 개선 효과를 확인하였다[5, 6]. 대부분의 인지-운동 이중과제에서 운동과제는 고정자전거[7, 8], 트레드밀[9] 운동을 하

는 동안 인지과제를 수행하였고 이중과제를 동시에 적용하는 것이 인지능력향상에 더 효과적이라 하였다[10]. 인지능력개선은 대부분 선행연구에서 선로 잇기 검사(trail making test A/B, TMT A/B), 스트룹 검사(stroop test)같은 임상검사도구를 통해 평가하지만 최근인지능력의 향상 결과를 전두엽 피질 산소포화도의 감소한 결과로 확인하였다[5, 11, 12].

현재까지 인지-운동 이중과제 훈련 연구들은 가상현실 기반 인지-운동 훈련[13-15], 게임 기반 인지-운동 훈련[16, 17], 다감각 자극을 통한 운동프로그램[18], 상호작용 인지-운동 스텝 훈련[19] 등이 있었다. 선행연구에서 인지개선의 향상을 확인 할 수 있지만 고비용의 장

Received: Dec 19, 2022 Revised: Dec 26, 2022 Accepted: Dec 26, 2022

Corresponding author: Seungwon Lee (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0413-0510>)

Department of Physical Therapy, Sahmyook University

815 Hwarang-ro, Nowon-gu, Seoul, Republic of Korea

Tel: +82-2-3399-1630 Fax: +82-2-3399-1639 E-mail: swlee@syu.ac.kr

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.

Copyright © 2022 Korean Academy of Physical Therapy Rehabilitation Science

비와 정해진 장소에서만 프로그램을 훈련할 수 있다는 제한점이 있다.

인지-운동이중과제 훈련의 장점과 장소의 제약을 최소화하고 대상자의 신체 움직임을 제한하지 않고 동기 유발 및 훈련의 지속성을 보장 할 수 있는 프로그램 개발이 필요하다. 기존의 인지-운동 이중과제 훈련에서 적용하는 신체움직임은 제한된 공간에서 가능한 움직임만 수행할 수 있지만 일상생활에서 수행하는 이중과제들은 공간과 자세의 제약 없이 걸어 다니거나 움직이면서 문제를 해결해야 한다. 실제적으로 이런 점을 고려하여 훈련 환경을 구축하려면 고가의 장비가 필요하고 제한된 공간에서만 할 수 있을 것이다. 인지-운동 이중과제 훈련을 높은 비용과 공간제약 문제를 해결하기 위해 공간의 제약이 없이 사용할 수 있는 시스템이 필요하다. 인터랙티브 시스템은 인간과 단말기 사이에서 상호작용을 하는 것으로 시스템과 무선연결을 통해 장비의 소형화, 이동성의 장점이 있다. 따라서, 인터랙티브 시스템을 인지-운동 이중과제 훈련에 융합하여 일상생활에서 수행하는 이중과제 훈련을 제약없이 쉽게 적용할 수 있도록 시스템 개발이 필요하다.

본 연구에서는 웨어러블 장비 기반의 인터랙티브 인지-운동 이중과제 훈련 시스템을 인지 장애가 있는 노인에게 적용 전 정상성인에게 적용하여 장비의 유용성과 인지-운동 이중과제 훈련 시 전전두엽 활성화도 변화를 확인하고자 한다. 또한 이 연구에서는 기존인지-운동 이중과제 훈련연구의 장점을 극대화 하고 단점은 보완하여 어느 현장에서도 쉽게 적용할 수 있는 웨어러블 기반 인터랙티브 시스템의 효과를 확인하고자 한다.

## 연구 방법

### 연구 대상

본 연구의 대상은 2, 30대 정상 성인으로 선정기준은 한국판 간이정신상태검사 25점 이상인 인지장애가 없는 사람으로 하였다. 근골격계 질환이 있거나 전전두엽 활성화 측정장비를 착용할 수 없는 이마에 상처 또는 출혈이 있는 사람, 어지럼증이 있는 사람은 제외하였다. 연구 수행에 필요한 대상자 수는 G-power 3.1.7 (Math.-Nat. Faculty, Düsseldorf, Nordrhein-Westfalen, Deutschland)을 이용하여 산출하였으며, 인지-운동 프로그램의 효과를 검증하기 위해 선행연구에 기준하여 T-검정, 유의수준 0.05, 검정력 0.80, 효과크기 0.62로 설정하여 산출된 최소 18명을 목표로 하여 중도 탈락률을 고려하여 총 20명을 모집하였다[5].

연구대상자 모집은 SNS와 구두홍보를 통하여 진행하였고 선정기준에 적합한 모든 대상자에게 연구의 목적과 방법을 충분히 설명 후 자발적인 참여 의사를 밝힌 경우에 동의서를 받아 연구를 진행하였다. 그리고 참여를 그만두기 원하는 경우 어떠한 불이익 없이 연구 참여 중단할 수 있음을 안내하였다.

### 연구 절차

본 연구는 삼육대학교 연구윤리위원회의 승인을 받아 시행하였다(SYU 2022-11-011). 연구는 선정기준을 만족하는 모든 대상자의 개인별 일정을 지정하여 진행하였다. 연구의 측정은 독립된 공간에서 진행하였으며 대상자의 일반적 특성을 수집 후 진행하였다.

대상자는 먼저 전전두엽(prefrontal cortex, PFC)의 활성도를 측정할 수 있는 장비를 이마에 착용하고 우세측 위팔에 암밴드를 착용한다. 개발된 웨어러블 센서 기반 인터랙티브시스템을 암밴드의 벨크로(Velcro)를 이용해 고정하고 무선주파수식별(radio frequency identification, RFID) 리더기가 붙어있는 장갑을 착용하였다. 장비 착용 후 대상자의 팔을 움직일 때 불편하지 않게 위팔에 착용한 암밴드의 위치와 벨크로의 강도를 조절 후 실험을 진행하였다. 인터랙티브 시스템을 사용하는 두 가지 인지-운동과제와 동일한 두가지 인지 과제를 무작위 순서로 진행하였으며 모든 인지-운동 훈련과제 종료 후 착용한 장비들을 탈착하고 인터랙티브 시스템에 대한 유용성 설문지 평가를 진행하였다. 총 4가지 과제 사이에 최소 1분의 충분한 휴식을 취하였으며 대상자의 준비가 완료되면 다음 과제를 진행하였다.

### 중재 방법

인터랙티브 시스템 기반 인지-운동 훈련 프로그램은 시스템의 블루투스 신호가 허용되는 범위내 무선주파수식별(radio frequency identification, RFID) 태그 배치를 자유롭게 하여 신체움직임을 제한하지 않고 인지과제를 해결할 수 있도록 구성하였다. RFID 리더기가 부착된 장갑을 RFID태그에 터치하는 방법으로 인지 과제를 수행한다. 웨어러블 센서기반 인터랙티브 시스템을 이용한 인지-운동 이중과제는 집중력(attention), 반응력(reaction), 실행능력(executive function)과 관련된 선 잇기 검사(trail making test A, TMT A)와 10쌍의 카드 짝 맞추기 게임을 이용하여 구현하였다.

인터랙티브 시스템을 이용한 TMT A는 연결된 모니터에 시각적 피드백과 청각적 피드백을 통하여 터치한 숫자를 알려주고 정답의 여부를 비프음을 통하여 제공하였다. 인터랙티브 시스템을 이용한 카드 짝 맞추기는

마찬가지로 4 X 5 배열로 구성하였으며 연결된 모니터에 카드의 앞면을 보여주고 대응하는 위치의 RFID 카드를 터치하여 인식하게 하였다. 카드의 짝이 맞지 않은 경우에는 연결된 화면에 카드의 뒷면이 다시 나타나게 하였다. 그리고 해당 카드에 대한 시각적, 청각적 피드백을 제공하였다.

중이 기반 TMT A는 책상에 앉아 1부터 25까지의 숫자를 선으로 연결하는 것으로 순서가 틀리면 다시 전 단계로 돌아가 진행하도록 한다. 10쌍의 카드 짝 맞추기 게임은 책상에 4 X 5 배열로 처음 카드의 위치를 10초간 보여 준 후 연구자가 카드를 전부 뒤집는다. 대상자가 우세측 팔만 사용하여 카드를 뒤집어 앞면의 짝을 맞출 수 있도록 하였다. 짝이 맞지 않는 카드는 뒷면으로 다시 뒤집어 놓고 스스로 진행하게 하였다.

**측정방법 및 도구**

*전전두엽(prefrontal cortex, PFC) 활성화도*

기능적 근적외선 분광기법(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS) 장비(NIRSIT Lite, OBELAB Inc., Rep. of Korea)를 이용하여 산소헤모글로빈(HbO) 변화량으로 전전두엽 활성화를 측정하였다[20, 21]. 과제를

수행하기 앞서 측정장비 영점 조정 후 30초의 휴식시간과 해당과제를 수행하는 동안 HbO 변화량을 측정하였다[21]. 채널1에서 채널7은 오른쪽 전전두엽, 채널 8은 가운데 전전두엽, 채널9에서 채널15는 왼쪽 전전두엽에 위치하며 자세한 15개 채널의 방출기 및 검출기 위치는 Table 1에 기술하였다.

*유용성(usability)*

유용성은 대상자가 웨어러블 센서 기반 인터랙티브 시스템 장비를 사용하는 동안 인지-운동 훈련 프로그램을 쉽고 편리하게 사용할 수 있는 정도를 측정하였다. 유용성 평가는 웨어러블 센서 기반 인터랙티브 시스템의 어려움, 사용의 편리성, 도움여부, 불편함 등에 대한 5개 항목으로 1점에서 7점까지 7점 리커트 척도로 해당 질문에 대한 동의 여부를 체크하였다(1점은 매우 동의하지 않음을 의미하고 7점은 매우 동의함을 의미함)[22, 23].

**자료 분석**

통계분석은 SPSS ver. 25.0(SPSS Inc., Chicago, IL,USA)을 사용하였다. 연구대상자의 일반적 특성은 기술통계를 사용하였고 인지-운동 이중과제 훈련에 따른

**Table 1.** PFC location of each channel of fNIRS

Location			
Channel 1	right	Inferior Frontal Gyrus, Triangular Part	Inferior Frontal Gyrus, pars orbitalis
Channel 2	right	Middle Frontal Gyrus	Inferior Frontal Gyrus, Triangular Part
Channel 3	right	Middle Frontal Gyrus	
Channel 4	right	Middle Frontal Gyrus	
Channel 5	right	Superior Frontal Gyrus, Dorsolateral	
Channel 6	right	Superior Frontal Gyrus, Medial	Superior Frontal Gyrus, Dorsolateral
Channel 7	right	Superior Frontal Gyrus, Medial	Superior Frontal Gyrus, Dorsolateral Superior Frontal Gyrus, Medial Orbital
Channel 8	center	Superior Frontal Gyrus, Medial	Superior Frontal Gyrus, Medial
Channel 9	left	Superior Frontal Gyrus, Medial	Superior Frontal Gyrus, Dorsolateral Superior Frontal Gyrus, Medial Orbital
Channel 10	left	Superior Frontal Gyrus, Medial	Superior Frontal Gyrus, Dorsolateral
Channel 11	left	Superior Frontal Gyrus, Dorsolateral	
Channel 12	left	Middle Frontal Gyrus	
Channel 13	left	Middle Frontal Gyrus	
Channel 14	left	Middle Frontal Gyrus	Inferior Frontal Gyrus, Triangular Part
Channel 15	left	Inferior Frontal Gyrus, Triangular Part	Inferior Frontal Gyrus, Pars Orbitalis

PFC: prefrontal cortex, fNIRS: functional near-infrared spectroscopy

PFC의 활성화도는 휴식기와 과제 훈련 중의 비교를 위해 대응 t 검정을 이용하고 인터랙티브 시스템을 이용여부에 따른 인지-운동 이중과제 훈련의 비교를 위해 독립 t 검정을 이용하여 분석하였다. 웨어러블 센서 기반 인터랙티브 시스템의 유용성 평가는 빈도분석을 실시하여 분석하였다. 모든 통계의 유의수준은 0.05로 설정하였다.

## 연구 결과

연구대상자의 일반적 특성은 평균연령은 28.17세로 남녀의 비율은 남자 10명, 여자 10명이다. 평균신장은 169.74cm 이며 체중은 65.35 kg이다(Table 2).

**Table 2.** General characteristics of subjects

	Mean(SD)
Age (yr)	28.17(5.76)
Sex(male/female)	10/10
Height (cm)	169.74(7.92)
Weight (kg)	65.35(12.15)

## PFC 활성화도 변화

인터랙티브 시스템을 사용하지 않고 전통적인 카드 짝 맞추기 게임의 경우 검사 전 휴식시의 PFC HbO 변화량은 채널 1, 2, 14, 15에서 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ). 웨어러블 센서 기반 인터랙티브 시스템을 이용한 카드 짝 맞추기 게임과 검사 전 휴식시의 PFC HbO 변화량은 각 채널 별 유의한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ).

웨어러블 센서 기반 인터랙티브 시스템을 이용한 TMT A 검사와 기존의 전통적인 TMT A 검사를 하는 동안과 검사 전 휴식상태의 PFC HbO 변화량은 각 채널 별 유의한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ).

## 인터랙티브시스템 유용성(usability)

인지-운동 훈련 프로그램 수행시 사용한 웨어러블 센서 기반 인터랙티브 시스템 유용성 평가에 대해 대상자 모두 5개 문항에 빠짐없이 답하였다. Table 5는 유용성 평가에서 각 질문의 평균점수를 기술하였다. 각 문항의 평균점수는 5.76점 이상으로 전체 평균은 5.98점으로 나타났다.

**Table 3.** Comparison of HbO in PFC of interactive system and conventional TMT A test

(n=20)

Channel ( $\mu$ mol)	Interactive system TMT A		Original TMT A		t(p)	95% CI
	before	during	before	during		
Ch1	0.64(1.56)	0.75(4.33)	0.32(2.73)	1.05(3.78)	-0.369(0.714)	[-4.020, 2.780]
Ch2	0.87(2.07)	1.56(8.96)	0.81(3.06)	3.16(11.27)	-0.554(0.583)	[-7.724, 4.403]
Ch3	0.16(0.91)	1.04(4.72)	0.43(1.93)	0.51(1.64)	0.639(0.526)	[-1.735, 3.337]
Ch4	0.62(1.35)	0.37(2.84)	0.90(1.16)	0.28(1.45)	0.466(0.644)	[-1.223, 1.954]
Ch5	0.53(0.83)	0.27(3.10)	0.78(1.39)	0.62(1.38)	-0.111(0.912)	[-1.869, 1.674]
Ch6	-0.15(0.92)	0.75(2.88)	0.69(1.71)	0.43(1.12)	1.361(0.181)	[-0.568, 2.901]
Ch7	-0.23(2.15)	-0.24(3.50)	0.36(2.09)	-0.20(2.17)	0.507(0.615)	[-1.652, 2.757]
Ch8	0.58(1.07)	0.07(3.50)	1.05(2.20)	1.13(2.28)	-0.593(0.556)	[-2.621, 1.433]
Ch9	0.12(1.04)	0.32(3.29)	0.31(1.16)	0.28(0.92)	0.280(0.781)	[-1.414, 1.869]
Ch10	-0.27(1.58)	0.66(3.77)	0.58(1.81)	0.24(1.65)	1.305(0.200)	[-0.698, 3.232]
Ch11	0.44(0.78)	0.38(2.94)	0.72(1.33)	0.26(1.08)	0.514(0.610)	[-1.187, 1.995]
Ch12	0.31(1.24)	-0.15(2.33)	0.41(1.35)	0.05(0.95)	-0.133(0.895)	[-1.477, 1.295]
Ch13	0.73(0.97)	0.50(3.37)	0.76(1.70)	0.57(1.42)	-0.055(0.957)	[-1.609, 1.524]
Ch14	0.07(0.96)	0.41(2.64)	0.18(1.61)	0.73(2.07)	-0.275(0.785)	[-1.881, 1.431]
Ch15	0.17(0.81)	0.83(3.49)	-0.39(1.88)	1.40(2.33)	-1.012(0.318)	[-3.397, 1.133]

Values are presented as mean(SD).

HbO: oxyhemoglobin, TMT A; trail making test A, CI: confidence interval

**Table 4.** Comparison of HbO in PFC of interactive system and conventional Card matching game (n=20)

Channel ( $\mu$ mol)	Interactive system Card matching		Original Card matching		t(p)	95% CI
	before	during	before	during		
Ch1	0.76(2.75)	2.63(4.40)	0.19(2.23)	3.38(4.23)*	-0.753(0.456)	[-4.889, 2.238]
Ch2	0.62(4.23)	0.55(5.34)	0.57(2.14)	3.24(3.60)*	-1.328(0.192)	[-6.908, 1.434]
Ch3	0.26(1.76)	1.08(3.08)	0.37(1.05)	1.38(2.34)	-0.167(0.868)	[-2.603, 2.205]
Ch4	0.64(1.82)	1.02(2.57)	0.47(1.32)	0.96(2.32)	-0.094(0.925)	[-2.191, 1.995]
Ch5	0.37(2.29)	0.25(3.49)	0.69(0.92)	1.71(2.23)	-0.852(0.400)	[-3.870, 1.578]
Ch6	0.87(2.06)	0.81(2.84)	0.39(0.81)	1.13(2.20)	-0.712(0.481)	[-3.097, 1.485]
Ch7	0.50(2.01)	-0.26(3.38)	0.37(1.46)	0.79(1.93)	-1.038(0.306)	[-3.484, 1.123]
Ch8	0.81(2.28)	-0.36(4.29)	0.70(1.69)	1.88(3.11)	-1.454(0.154)	[-5.623, 0.922]
Ch9	0.63(2.02)	0.80(3.90)	0.39(1.17)	1.50(1.86)	-0.708(0.484)	[-3.656, 1.762]
Ch10	0.16(2.00)	0.32(3.35)	0.44(1.55)	0.83(2.47)	-0.189(0.851)	[-2.647, 2.196]
Ch11	0.66(1.85)	0.49(3.25)	0.75(1.23)	1.47(2.16)	-0.724(0.473)	[-3.366, 1.593]
Ch12	0.35(1.72)	0.19(2.80)	0.54(1.23)	0.72(2.46)	-0.306(0.761)	[-2.579, 1.901]
Ch13	0.60(2.13)	0.53(2.78)	0.58(1.47)	1.44(2.02)	-0.837(0.408)	[-3.164, 1.313]
Ch14	0.29(2.19)	0.49(2.49)	0.27(1.29)	1.67(2.37)*	-1.126(0.267)	[-3.390, 0.967]
Ch15	0.15(2.13)	1.59(2.46)	0.13(1.94)	2.47(3.35)*	-0.734(0.468)	[-3.429, 1.604]

Values are presented as mean(SD).

HbO: oxyhemoglobin, CI: confidence interval

\*presents the  $p < 0.05$ .

**Table 5.** Usability of wearable sensor based interactive system

Questions	Mean(SD)
I had no difficulty in using this system.	6.12(1.05)
I find that it is easy to use this system.	6.00(1.00)
I learned how to use this system without any help.	5.94(0.97)
I find that there is no inconvenience in the overall structure of this system.	6.06(0.97)
I find that most people could use this system without difficulty.	5.76(1.20)
Total	5.98(1.02)

### 고찰

본 연구는 웨어러블 센서기반 인터랙티브 시스템을 활용한 인지-운동 훈련 프로그램이 대상자 전전두엽(PFC) 산소헤모글로빈(HbO)의 유의한 활성의 증가는 보이지 않았으나 평균차이의 변화는 있었다. 자유로운 공간에서 소형화된 웨어러블 센서 기반 인터랙티브 시스템 사용에 대한 대상자들의 유용성 평가는 백분율로 환산한 경우 평균 85.43%로 긍정적인 결과가 나타났다.

인터랙티브 시스템 인지-운동 훈련으로 선로 잇기 검

사(TMT A)와 10쌍의 카드 짝 맞추기 게임을 적용하였을 때 PFC의 HbO 변화량은 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다. 하지만 인터랙티브 시스템 인지-운동 이중과제 훈련을 수행하는 동안 15개의 채널에서 HbO의 활성도가 휴식상태 보다 증가하였다. 인지-운동 이중과제. 훈련의 동시수행은 프로그램 진행 중 전전두엽의 HbO 활성이 증가하였던 선행연구의 결과와 일치한다 [20]. 인지-운동 이중과제 훈련을 즉각적으로 비교한 연구와 일정기간 중재를 적용한 후 전후비교를 한 연구를 비교했을 때, 즉각적인 효과를 측정할 연구에서는 혈류

량이 증가하였고 전후비교를 한 연구에서는 뇌 활성도가 감소하는 결과가 있었다[5, 24]. 인지능력 향상과 전전두엽의 뇌 활성이 감소한 결과는 일정기간 동안 훈련을 통한 인지기능의 향상이 신경효율성을 증가시켜 뇌 활성도가 감소한 것으로 설명된다[11, 12, 25]. 본 연구 결과에서 혈류량으로 관찰한 뇌 활성도가 인지-운동과제를 동시에 수행하며 증가한 것은 즉각적 효과를 측정하였고 새로운 과제에 대한 자극이 뇌 활성도를 증가[20]시켰기 때문이라 생각된다.

선행연구에서 건강한 노인에게 운동과 인지 훈련 이중과제를 동시에 수행하는 것은 단일과제를 하는 것보다 PFC의 감소된 산소화(oxygenation)와 집행 기능향상에 더 효율적인 결과가 있다고 하였다[11]. Pellegrini-Laplagne은 인지-운동 훈련 후에 뇌는 더 효율적인 상태로 피질의 활성이 적게 필요하여 신진대사 및 혈관활동이 적게 필요하기 때문이라고 하였다[25]. Pellegrini-Laplagne은 이러한 현상이 추가검증이 필요하지만 인지 운동 중에 신경 회로가 자극되고 나중에 자극을 받을 때 촉진 효과를 얻을 수 있을 것이라고 설명하였다.

기존의 종이기반 TMT A는 대부분 앉은 자세에서 인지평가도구로 사용되지만 인지 훈련 과제로도 사용할 수 있다. 신체움직임을 허용하는 인지-운동 훈련 과제의 콘텐츠로 사용하기에 TMT A는 장소의 제약을 받을 수 있지만 본 연구에서 개발한 웨어러블 센서 기반 인터랙티브 시스템을 이용하면 신체움직임을 크게 허용할 수 있다. 그리고 종이기반 TMT A는 동일한 배열을 사용자가 학습할 수 있기 때문에 사용자나 연구자가 숫자의 배열을 무작위로 원하는 장소에 배치하여 인지 과제 훈련으로 사용할 수 있는 장점이 있다. 또한, 종이기반의 인지과제들을 일상생활 공간으로 옮겨서 다양한 범위내에서 자유롭게 신체 움직임을 이용하여 인지과제를 적용할 수 있을 것이다.

웨어러블 센서 기반 인터랙티브 시스템의 유용성 평가 결과 전체 평균은 백분율로 환산하였을 경우 85.43%로 높은 점수로 평가 받았으며 5개 문항의 평균점수도 82.29% 이상으로 큰 차이를 보이지 않았다. 현재 프로토타입의 인터랙티브 시스템은 RFID 카드를 이용한 터치기반으로 가볍고 소형화된 장비를 앰밴드를 이용하여 위팔에 착용하고 대상자가 원하는 신체부위에 이동하여 착용할 수도 있다. 인터랙티브 시스템 사용에 어려움이 없고(87.43%) 전반적인 구조에 대한 불만함이 없다(86.71%)고 설문결과 나타났다. 따라서 모바일 기기 사용에 친숙한 성인을 대상으로 유용성평가를 하였지만 본 연구에서 개발한 웨어러블 센서 기반 인터랙티브 시스템은 장비를 착용 후 터치 기반으로 노인도 부담 없이 사용할 수 있을 것이라 생각된다. 뿐만 아니라 모든

연령대에게 웨어러블 센서 기반 인터랙티브 시스템의 사용방법 교육 후 인지-훈련 이중과제 훈련을 적용할 수 있으며 목적에 따라 훈련 콘텐츠의 다양성을 확보하여 적용할 수 있을 것이다. 광범위한 연령대의 대상자에게 활용 가능성이 높아 인터랙티브 시스템의 장점인 장비의 소형화와 비용절감은 노인시설, 의료기관, 복지관 등에 부담 없이 적용할 수 있을 것이라 생각된다. 다양한 대상자에 대한 유용성과 효과성 검증은 추후 연구에서 지속하여 검증해야 할 것이다.

그리고 본 연구에서 개발한 웨어러블센서 기반 인터랙티브 시스템은 RFID 카드를 기본으로 다양한 인지-운동 이중과제 훈련을 개발하여 쉽게 적용할 수 있으며 현재 개발한 인지-운동 이중과제 훈련의 지속적인 업데이트와 다양한 콘텐츠 신설에 노력하여야 할 것이다.

## 결론

본 연구는 웨어러블 센서 기반 인터랙티브 시스템을 적용한 인지-운동 프로그램이 전전두엽의 뇌 활성도와 개발한 시스템의 유용성을 확인하고자 하였다. 연구 결과 인터랙티브 시스템 인지-운동 훈련 프로그램을 통해 전전두엽의 산소헤모글로빈의 증가를 확인 할 수 있었으며 개발된 시스템 사용에 대한유용성평가는 긍정적으로 나타났다. 따라서 인터랙티브 시스템 인지-운동프로그램은 공간의 제약을 최소화하고 이동성을 확보하여 향후 임상에서 인지-운동 훈련 프로그램으로 쉽게 활용할 수 있을 것이다.

## 감사의 글

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.NRF-2021R1F1A1060798).

## 이해 충돌

본 연구의 저자들은 연구, 저작권, 및 출판과 관련하여 잠재적인 이해충돌이 없음을 선언합니다.

## 참고문헌

1. Sperling RA, Aisen PS, Beckett LA, Bennett DA,

- Craft S, Fagan AM, et al. Toward defining the pre-clinical stages of Alzheimer's disease: Recommendations from the National Institute on Aging-Alzheimer's Association workgroups on diagnostic guidelines for Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia*. 2011;7:280-92.
- Wimo A, Jönsson L, Bond J, Prince M, Winblad B. The worldwide economic impact of dementia 2010. *Alzheimers Dement*. 2013;9:1-11.e3.
  - Bherer L, Gagnon C, Langeard A, Lussier M, Desjardins-Crépeau L, Berryman N, et al. Synergistic Effects of Cognitive Training and Physical Exercise on Dual-Task Performance in Older Adults. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*. 2021;76:1533-41.
  - Campos-Magdaleno M, Pereiro A, Navarro-Pardo E, Juncos-Rabadán O, Facal D. Dual-task performance in old adults: cognitive, functional, psychosocial and socio-demographic variables. *Aging clinical and experimental research*. 2021.
  - Park J-H. Effects of Cognitive-Physical Dual-Task Training on Executive Function and Activity in the Prefrontal Cortex of Older Adults with Mild Cognitive Impairment. *Brain Neurorehabil*. 2021;14.
  - Law C-K, Lam FMH, Chung RCK, Pang MYC. Physical exercise attenuates cognitive decline and reduces behavioural problems in people with mild cognitive impairment and dementia: a systematic review. *J Physiother*. 2020;66:9-18.
  - Combourieu Donnezan L, Perrot A, Belleville S, Bloch F, Kemoun G. Effects of simultaneous aerobic and cognitive training on executive functions, cardiovascular fitness and functional abilities in older adults with mild cognitive impairment. *Mental Health and Physical Activity*. 2018;15:78-87.
  - Raichlen DA, Bharadwaj PK, Nguyen LA, Franchetti MK, Zigman EK, Solorio AR, et al. Effects of simultaneous cognitive and aerobic exercise training on dual-task walking performance in healthy older adults: results from a pilot randomized controlled trial. *BMC Geriatr*. 2020;20:83.
  - Dorfman M, Herman T, Brozgol M, Shema S, Weiss A, Hausdorff JM, et al. Dual-task training on a treadmill to improve gait and cognitive function in elderly idiopathic fallers. *J Neurol Phys Ther*. 2014;38:246-53.
  - Tait JL, Duckham RL, Milte CM, Main LC, Daly RM. Influence of Sequential vs. Simultaneous Dual-Task Exercise Training on Cognitive Function in Older Adults. *Front Aging Neurosci*. 2017;9.
  - Pellegrini-Laplagne M, Dupuy O, Sosner P, Bosquet L. Effect of simultaneous exercise and cognitive training on executive functions, baroreflex sensitivity, and pre-frontal cortex oxygenation in healthy older adults: a pilot study. *GeroScience*. 2022.
  - Friedman NP, Robbins TW. The role of prefrontal cortex in cognitive control and executive function. *Neuropsychopharmacology*. 2022;47:72-89.
  - Kwan RYC, Liu JYW, Fong KNK, Qin J, Leung PK-Y, Sin OSK, et al. Feasibility and Effects of Virtual Reality Motor-Cognitive Training in Community-Dwelling Older People With Cognitive Frailty: Pilot Randomized Controlled Trial. *JMIR Serious Games*. 2021;9:e28400.
  - Liao YY, Chen IH, Lin YJ, Chen Y, Hsu WC. Effects of Virtual Reality-Based Physical and Cognitive Training on Executive Function and Dual-Task Gait Performance in Older Adults With Mild Cognitive Impairment: A Randomized Control Trial. *Front Aging Neurosci*. 2019;11:162.
  - Liao Y-Y, Chen I-H, Lin Y-J, Chen Y, Hsu W-C. Effects of Virtual Reality-Based Physical and Cognitive Training on Executive Function and Dual-Task Gait Performance in Older Adults With Mild Cognitive Impairment: A Randomized Control Trial. *Front Aging Neurosci*. 2019;11.
  - Olyaei G, Khanmohammadi R, Talebian S, Hadian MR, Bagheri H, Najafi M. The effect of exergaming on cognition and brain activity in older adults: A motor-related cortical potential study. *Physiol Behav*. 2022;255:113941.
  - Amjad I, Toor H, Niazi IK, Pervaiz S, Jochumsen M, Shafique M, et al. Xbox 360 Kinect Cognitive Games Improve Slowness, Complexity of EEG, and Cognitive Functions in Subjects with Mild Cognitive Impairment: A Randomized Control Trial. *Games Health J*. 2019;8:144-52.
  - Moreira NB, Gonçalves G, da Silva T, Zanardini FEH, Bento PCB. Multisensory exercise programme improves cognition and functionality in institutionalized older adults: A randomized control trial. *Physiother Res Int*. 2018;23:e1708.

19. Schoene D, Valenzuela T, Toson B, Delbaere K, Severino C, Garcia J, et al. Interactive Cognitive-Motor Step Training Improves Cognitive Risk Factors of Falling in Older Adults - A Randomized Controlled Trial. *PLoS One*. 2015;10:e0145161.
20. Park S-Y, Schott N. The Immediate and Sustained Effects of Exercise-Induced Hemodynamic Response on Executive Function During Fine Motor-Cognitive Tasks Using Functional Near-Infrared Spectroscopy. *Journal of Integrative Neuroscience*. 2022;21:98.
21. Yang D, Hong KS, Yoo SH, Kim CS. Evaluation of Neural Degeneration Biomarkers in the Prefrontal Cortex for Early Identification of Patients With Mild Cognitive Impairment: An fNIRS Study. *Front Hum Neurosci*. 2019;13:317.
22. Lee T-S, Goh SJA, Quek SY, Phillips R, Guan C, Cheung YB, et al. A Brain-Computer Interface Based Cognitive Training System for Healthy Elderly: A Randomized Control Pilot Study for Usability and Preliminary Efficacy. *PLoS One*. 2013;8:e79419.
23. Lee, Kang. Consumer-Driven Usability Test of Mobile Application for Tea Recommendation Service. *Applied Sciences*. 2019;9:3961.
24. Zhu Y, Sun F, Chiu MM, Siu AY. Effects of high-intensity interval exercise and moderate-intensity continuous exercise on executive function of healthy young males. *Physiol Behav*. 2021;239:113505.
25. Pellegrini-Laplagne M, Dupuy O, Sosner P, Bosquet L. Acute Effect of a Simultaneous Exercise and Cognitive Task on Executive Functions and Prefrontal Cortex Oxygenation in Healthy Older Adults. *Brain Sciences*. 2022;12:455.