

가상현실기반 인지재활훈련과 컴퓨터기반 인지재활훈련이 회복기 뇌졸중 환자의 기능과 전전두엽 피질에 미치는 영향에 대한 사전연구

이현민[†] · 김수산¹

호남대학교 물리치료학과, ¹호남대학교 대학원 재활과학과

Preliminary Study on the Effects of Virtual Reality-based Cognitive Rehabilitation and Computer-based Cognitive Rehabilitation on Function and Prefrontal Cortex in Convalescent Stroke Patients

Hyun-Min Lee, PT, PhD[†] · Soo-San Kim, PT¹

Department of Physical Therapy, Honam University

¹Department of Rehabilitation Science, Graduate School, Honam University

Received: April 19 2023 / Revised: April 21 2023 / Accepted: May 4 2023

© 2023 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: This study compared the effects of computer-based and virtual reality-based cognitive rehabilitation programs on the cognitive function, upper limb function, activities of daily living, and their impact on the prefrontal cortex in convalescent stroke patients.

METHODS: Ten recovering stroke patients were assessed for their cognitive function, upper limb function, and daily living activities using the Neurobehavioral Cognitive Status Examination, the Korean version of the Fugl-Meyer Assessment, and the Korean version of the Modified Barthel Index. The prefrontal cortex activity was measured with functional Near Infrared Spectroscopy. The virtual

reality-based cognitive rehabilitation group utilized a program of daily living activities delivered via a laptop and Oculus Rift. The computer-based cognitive rehabilitation group performed various cognitive tasks on an all-in-one PC. Both groups underwent cognitive rehabilitation training for 30 minutes per day, three times a week, for six weeks, with identical conventional rehabilitation therapies in the hospital.

RESULTS: Both programs positively impacted the cognitive and physical functions. On the other hand, the virtual reality-based cognitive rehabilitation program had a larger influence on improving the cognitive and physical functions of convalescing stroke patients.

CONCLUSION: The virtual reality program suggests its potential to enhance cognitive and physical functions in convalescent stroke patients through increased engagement, focus, real-time feedback, and game elements, making it a promising rehabilitation approach.

Key Words: Cognition, Functional near-infrared spectroscopy, Stroke, Virtual rehabilitation

[†]Corresponding Author : Hyun-Min Lee
leehm@honam.ac.kr, <http://orcid.org/0000-0001-8001-5066>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

뇌졸중은 뇌혈관 손상으로 야기되는 신경학적 결핍이 발생하는 질환으로, 환자들은 운동 뿐만 아니라 감각, 언어, 시각, 인지 기능의 다양한 기능장애를 겪는다 [1]. 뇌졸중 회복에 관한 세계적인 연구자들이 합의를 도출한 첫번째 뇌졸중 회복 및 재활 원탁회의(1st Stroke Recovery and Rehabilitation Roundtable; SRRR I)에서는 주로 운동 회복에 초점을 두었는데, 이는 운동 회복이 역학적 측면과 임상적 측면에서 더 발전된 영역이었기 때문이다[2]. 두번째 뇌졸중 회복 및 재활 원탁회의(SRRR II)에서는 인지에 관한 합의를 도출하였는데, 인지 작업 그룹에서 채택한 뇌졸중 후 인지 장애의 정의는 뇌졸중 후 처음 3개월 동안 발생하고 최소 6개월 동안 지속되는 인지 결핍을 말한다[3]. 이러한 결핍은 뇌졸중 환자의 30~40%에서 발생하며, 언어, 실행기능(execute function), 시공간 인지(visuospatial cognition), 일화 및 작업 기억(episodic and working memory)을 포함한 하나 이상의 인지 영역에서 발생한다[4].

뇌졸중 후 발생하는 인지기능의 제한은, 독립적인 일상생활동작 수행을 저해하는 주요 요인 중 하나로 작용하며, 기능회복과 사회 참여에 큰 장애로 작용한다 [5]. 또한, 이로 인해 뇌졸중 환자는 실제 측정된 신체 장애정도 보다 더 열악한 삶의 질(quality of life)을 경험하게 된다[6]. 뇌졸중 환자의 인지기능 향상은, 일상생활 및 사회적 활동 참여가 중요하다[7]. 특정 활동에 대한 계획, 시작, 문제해결, 기억력, 언어 능력 등이 저하되므로, 전반적인 뇌기능 회복을 위해 적절한 재활훈련을 통해 뇌졸중 후 인지기능 장애를 최소화하는 것이 재활에서 필수적인 목표라 할 수 있다[8].

효과적인 재활치료가 이루어지기 위해서는, 환자의 환경적 특이성과 전문 인력의 다각적인 접근방법 등이 고려되어야 한다. 재활의 동기와 의지를 높이기 위해 가상현실 기반의 재활치료에 대한 연구와 임상적 적용이 활발해지고 있으며, 시도 범위도 넓어지고 있다. 하지만 IREX, Nintendo Wii, Microsoft Xbox 등 2D 기반의 기기를 이용한 연구가 다수를 차지한다. 최근에 이르러서 HMD (Head Mounted Display) 기반 Oculus Rift나

HTC Vive 등을 이용하여 연구하고 있지만[9], 이는 주로 일반인 대상 프로그램을 환자에게 적용한 연구들이 진행되고 있어, 환자 대상 재활치료 목적으로 개발된 프로그램을 이용한 연구가 미흡한 실정이다.

현재 임상에서 사용되는 컴퓨터기반 인지재활프로그램은, 주로 2D 콘텐츠로 구성되어 있어 몰입감이 떨어지며, 영어 문화권 중심의 콘텐츠를 제공하므로 국내 환자의 경우 사용시 이질감을 느끼는 경우가 많다[10]. 또한, 일상생활과 동떨어진 콘텐츠로 인해 실제 일상생활활동 수행의 전이효과가 감소될 수 있다[9]. 최근 연구에서는 기존의 가상현실 프로그램만 적용하는 것은 효율성이 떨어지며, 인지기능과 신체활동의 복합적인 문제는 두 가지 방법을 결합하여 적용하는 것이 더 효과적이라고 보고되고 있다[11]. 또한, HMD기반의 가상/증강현실은 몰입감이 높다는 장점을 가지고 있지만, HMD 착용시 사용자가 두통, 메스꺼움 등의 증상이 발생하는 사이버 멀미 현상을 보이고 있어, 인지기능에 따라 가상현실 또는 증강현실을 구분하여 적용할 필요성이 있으나 관련 연구는 부족한 실정이다.

최근 몇 년간 뇌졸중 환자를 대상으로 한 가상현실 기반 인지재활훈련과 컴퓨터 기반 인지재활훈련에 대한 연구 관심이 증가하고 있다[12-14]. 이러한 치료법이 뇌졸중 환자의 인지 및 운동 기능 향상에 효과적인 것으로 나타났으나 가상현실 기반 및 컴퓨터 기반 인지재활 프로그램의 상대적 효과에 대한 증거는 여전히 제한적이며, 다양한 환자 집단에 대한 최적의 접근 방법을 결정하기 위해 추가 연구가 필요하다[14]. 본 연구는 이러한 연구결과를 바탕으로 회복기 뇌졸중 환자를 대상으로 가상현실 기반 및 컴퓨터 기반 인지재활 프로그램의 인지 기능, 상지 기능, 일상생활 동작, 전전두엽 피질에 미치는 영향을 비교하는 것을 목표로 한다.

II. 연구방법

1. 연구 대상자

본 연구는 2022년 6월부터 8월까지 G시에 소재한 G병원에 입원중인 뇌졸중 환자 10명을 대상으로 진행하였다. 연구 대상자의 선정기준은 다음과 같다. (1) 뇌

졸중을 진단 받은 지 6개월 이내인 자, (2)시각과 감각에 이상이 없는 자, (3)심리적으로 불안한 증상이 없는 자, (4)두개골 적출 수술을 받지 않은 자, (5)한국판 간이 정신상태 검사(Korean version of Mini-Mental State Examination; K-MMSE)에서 24점 이상, (6)수정에쉬워드 경직척도(Modified Ashworth Scale; MAS)G2 이하인 자 (7)다른 연구 프로그램에 참여하고 있지 않은 자. 선정조건에 해당하는 최종 10명을 선별하였다. 최종 대상자는 무작위로 가상현실기반 인지재활훈련군 5명, 컴퓨터기반 인지재활훈련군 5명으로 배치하였다. 모든 대상자들은 생명윤리 규정 및 헬싱키 선언에 따라 연구에 참여하기 전에 충분한 설명과 동의를 받고 참여하였다.

2. 연구 설계

본 연구의 절차는 다음과 같이 진행하였다(Fig. 1).

3. 중재 방법

두 그룹의 인지재활훈련은 1일 1회 30분, 주 3회,

6주간 실시하였고, 병원에서의 일반적인 재활치료로 보행 및 하지 근력 증진을 위한 운동치료와 인지기능 재활치료를 제외한 작업치료를 1회당 30분, 1일 3회, 주 5일, 6주간 동일하게 시행하였다.

1) 가상현실기반 인지재활

본 연구에서는 2017년 정보통신산업진흥원의 의료 ICT융합 컨소시엄 과제에서 개발된 가상현실 기반 시지각 중심 인지재활 서비스 콘텐츠 Tion (Human IT solution, Korea)을 적용하였다. 가상현실 콘텐츠는 노트북(Alienware 17R4, Dell, USA)을 이용하여 구동하였으며 몰입형 가상현실 제공은 Oculus Rift (DK2, Oculus, USA)와 Oculus Rift 컨트롤러를 사용하였다. 가상현실 콘텐츠는 상지기능 및 일상생활활동, 시지각 인지능력 개선을 위한 시지각 중심의 재활서비스 콘텐츠로 구성되었다(Fig. 2) 본 연구에서는 가상현실 인지재활훈련 시 나타날 수 있는 부작용인 사이버 멀미를 예방하기 위해 중재 중 대상자가 어지러움 호소 시 중재를 중단하고 충분한 휴식을 취한 뒤 중재를 재개하였다.

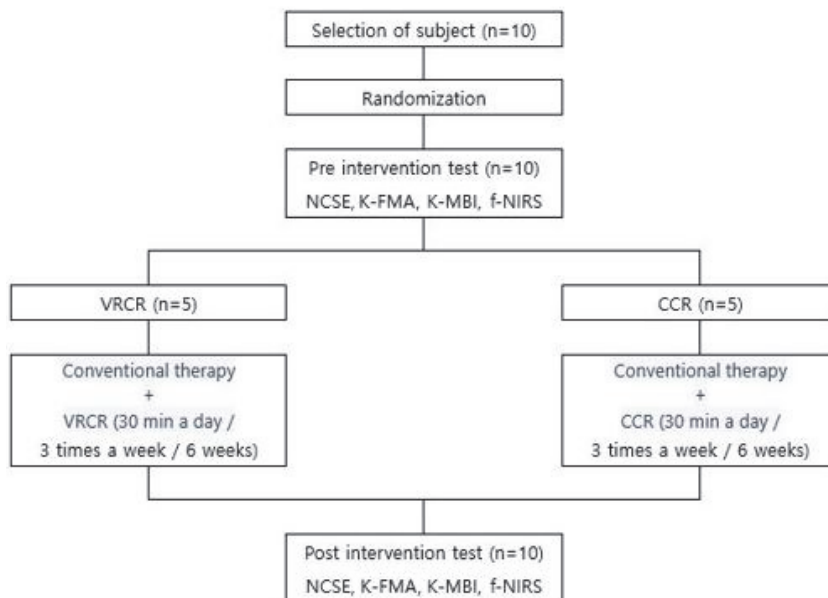


Fig. 1. Study design.

NCSE: Neurobehavioral Cognitive Status Examination, K-FMA: Korean version of Fugl-Meyer Assessment, K-MBI: Korean version of Modified Barthel Index, f-NIRS: functional Near Infrared Spectroscopy, VRCR: Virtual Reality-based Cognitive Rehabilitation, CCR: Computer-based Cognitive Rehabilitation.

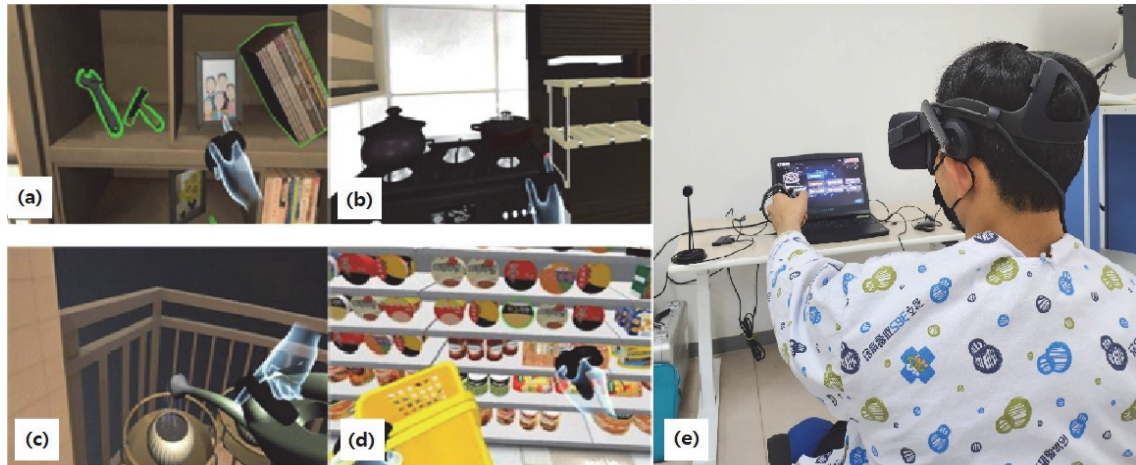


Fig. 2. Components of the virtual reality system.

(a): living room, (b): kitchen, (c): veranda, (d): convenience store, (e): virtual reality-based cognitive rehabilitation task execution in progress.

2) 컴퓨터기반 인지재활

본 연구에서는 CoTras-G (COTRAS, Korea)를 이용하여 컴퓨터기반 인지재활 서비스를 실시하였다. CoTras-G는 일체형 PC (DM515A2G, Samsung, Korea)를 사용하며, 터치스크린 또는 컨트롤러를 이용하여 화면에 표시되는 문제를 푸는 실생활에 적합한 훈련 콘텐츠로 구성되어 있다. 훈련 내용의 구성은 시지각, 집중력, 기억력, 지남력, 기타(수와 양, 순서화, 범주화, 신체상, 사회인지)

등 5개 영역 훈련으로 구성되었다(Fig. 3)

4. 측정 도구 및 방법

대상자의 인지기능은 신경행동인지상태검사(Neurobehavioral Cognitive Status Examination; NCSE), 상지기능은 한국판 푸글마이어검사(Korean version of Fugl-Meyer Assessment; K-FMA), 일상생활동작은 한국판 수정바텔지수(Korean version of Modified Barthel Index; K-MBI)를 사용하였다.



Fig. 3. Computer-based cognitive rehabilitation task execution in progress.

대상자의 전전두엽 피질의 뇌활성도는 기능적 근적외선분광법(functional Near Infrared Spectroscopy; f-NIRS)을 이용하여 측정하였다.

1) 신경행동인지상태검사(NCSE)

NCSE는 인지상태를 평가할 수 있는 선별도구로서, 전반적인 의식 수준, 지남력, 기억력, 주의집중력, 언어의 유창성 및 이해, 구성 및 계산능력, 논리적 사고력 등을 평가할 수 있다[15]. 이 검사는 영역 당 .46~.85의 내적 타당도를 보이고 있으며, 검사-재검사의 신뢰도는 .88~1.00으로 높게 보고되고 있다[16].

2) 한국판 푸글마이어검사(K-FMA)

K-FMA는 뇌졸중 후 기능적 회복 정도를 평가하는 검사로서 관절가동범위, 운동기능, 균형, 통증, 감각평가 항목으로 구성된다. 검사항목 중 운동기능 평가는 상지 운동기능과 하지 운동기능으로 구분되어 있는데, 본 연구에서는 검사 항목 중 상지의 운동기능만 평가하였다. 세부 항목은 어깨/팔꿈치/아래팔 18항목, 손목 5항목, 손(손가락) 7항목, 상지 협응 능력 3항목으로 전체 33항목이며 만점은 66점이다[17]. 이 검사의 검사자내 신뢰도는 .99, 검사자간 신뢰도는 .96으로 높게 보고되고 있다[18].

3) 한국판 수정바텔지수(K-MBI)

K-MBI는 일상생활활동을 평가하는 검사로서 개인 위생, 목욕하기, 식사하기, 대소변처리, 계단 오르기, 옷 입기, 대소변 조절, 보행(휠체어 이동), 의자/침대 이동하기 등 10가지 영역으로 나누어져 있다[19]. 이 평가의 검사-재검사의 신뢰도는 .89, 측정자간 신뢰도는 .95이다[20].

4) 기능적 근적외선분광법(f-NIRS)

본 연구에서는 가상현실기반 인지재활과 컴퓨터기반 인지재활 수행 시 대뇌 전전두엽(prefrontal cortex; PFC) 영역의 활성화 차이를 알아보기 위하여 f-NIRS를 사용하였다. f-NIRS는 비침습적인 근적외선을 이용하여 대뇌피질의 산소헤모글로빈(HbO2)과 탈산소 헤모

글로빈(HbR)의 변화량을 측정할 수 있는 장비로, 사람의 감정, 인지, 근육 조절 등으로 인한 대뇌 활성도의 변화를 혈액학적 방법으로 측정할 수 있다[21]. 본 연구에서는 전전두피질의 혈액학적 반응을 측정하기 위하여 NIRSIT (OBELAB, Korea)을 이용하여 측정하였다. NIRSIT은 24개의 광원(레이저 다이오드)과 32개의 검출기(단분리 포함 총 204개 채널)로 구성된 고밀도 f-NIRS 장치로 대뇌 피질을 통과하는 근적외선의 흡수율 차이를 활용하여 Δ HbO와 Δ HbR을 측정하는 웨어러블 기기이다. 두 발색단(Δ HbO와 Δ HbR)의 농도를 측정하기 위해 두 가지 파장(780 nm와 850 nm)을 사용하였고, 모든 소스와 해당 검출기 사이의 거리는 3 cm로 선택하였다. 전전두엽 피질에서는 총 48개의 채널이 생성되었으며, 근적외선 센서와 태블릿 컴퓨터(Galaxy Tab, Samsung, Korea)는 무선랜 통신을 통해 연결하였다. 실험 중 데이터는 태블릿 컴퓨터에 기록되었다(Fig. 4).

fNIRS 측정 시 사용되는 인지기능 평가과제는 Stroop color and word test와 Corsi-block test를 이용하였다. Stroop color and word test는 빨강과 초록의 각 글자와 색깔을 이용하여 해당 글자의 의미가 아닌 글자가 띄고 있는 색깔을 고르는 방식으로 수행하고, Corsi-block test는 9개의 파란색 블록 중 무작위로 색이 변하는 블록의 위치와 순서를 기억하여 맞추는 방식으로 수행한다. 이들 과제를 파이썬(Python)을 이용하여 프로그램을 제작하였다(Fig. 5). 각 과제 수행 중 대뇌 전전두엽

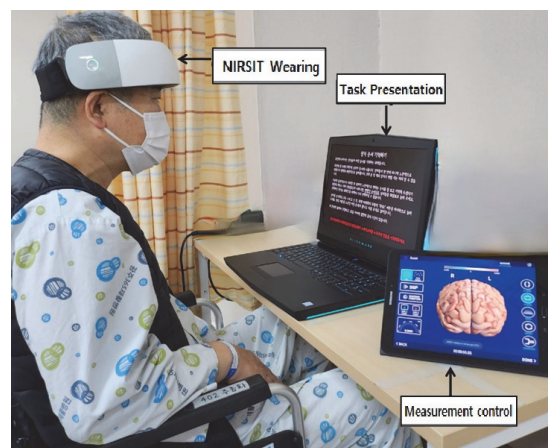


Fig. 4. Functional near-infrared spectroscopy.

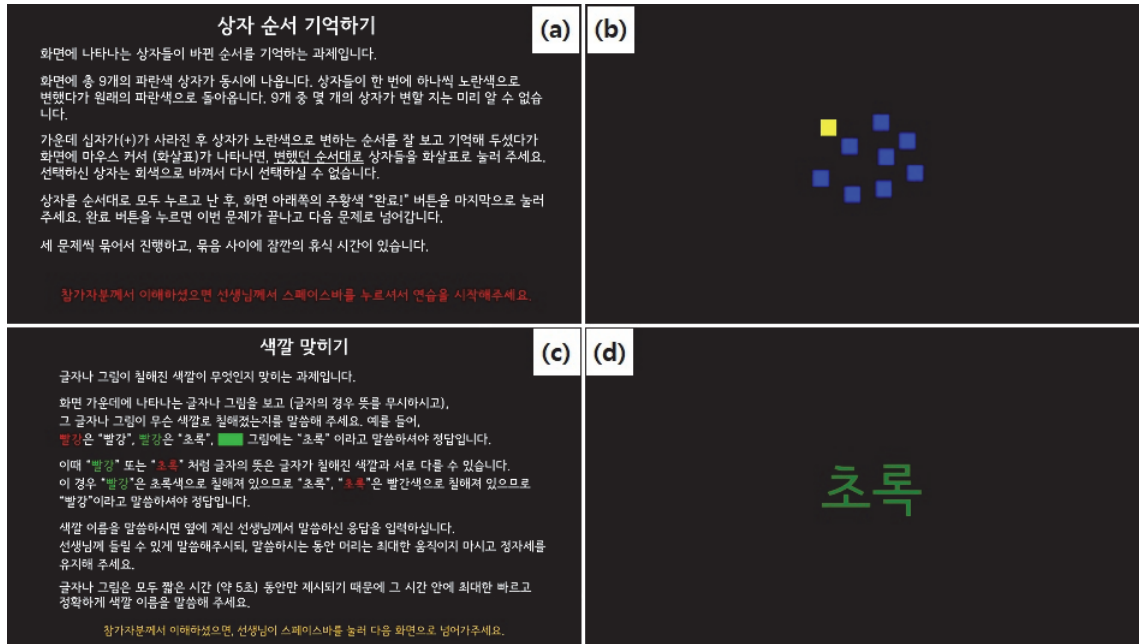


Fig. 5. Task of functional Near-Infrared Spectroscopy.

(a), (b): Corsi-block test screen and explanation of the procedure, (c), (d): Stroop color-word Test screen and explanation of the procedure.

(prefrontal lobe) 영역의 활성화의 차이를 밝히기 위해서 NIRSIT (Obelab, Korea)을 사용하여 전전두엽 영역 48 ch 을 측정하였고, 선행 연구와 동일하게 과제 수행 시 활성화도가 가장 두드러지는 Left FPC (Frontopolar Prefrontal Cortex), Right FPC 영역을 관심영역으로 지정 하였다(Fig. 6)[22,23].

본 연구에서는 연구 대상자에 대해 기능적 평가를 수행하고 전전두엽 피질의 뇌활성도를 측정하였다. 기능적 평가는 각 평가에 대한 평가지를 이용하여 통제된 환경 내에서 실시하였으며, 각 세션에 대한 점수를 합산하여 산출하였다. 전전두엽 피질의 뇌활성도 평가는 Stroop color and word test 및 Corsi-block test 실시 중 관심 영역의

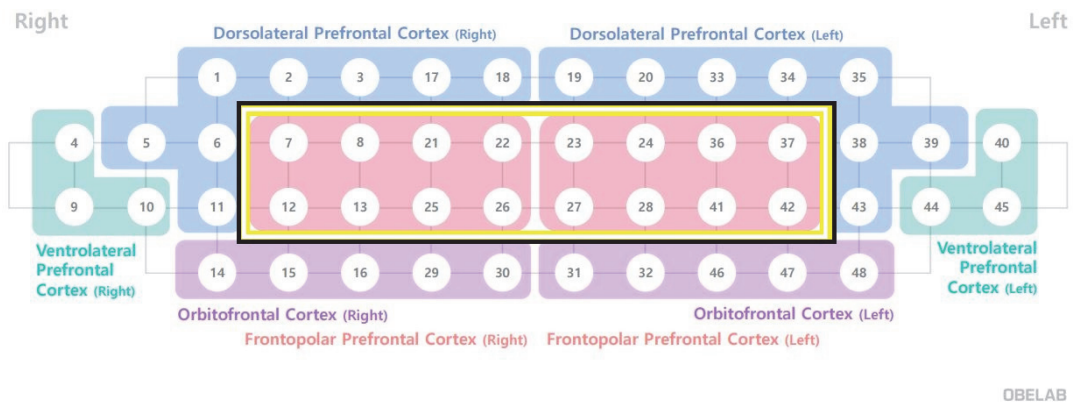


Fig. 6. Brodmann mapping of the NIRSIT channels (NIRSIT Channel Information, Obelab).

뇌활성도 변화를 측정하였다. 평가는 중재 전과 6주간의 중재 후 총 2회 실시하였으며, 뇌활성도 평가는 4회 반복 실시하여 평균값을 산출하였다. 모든 평가는 치료에 참여하지 않고 평가에 대한 능력이 검증된 임상 5년차 이상의 물리치료사와 작업치료사가 측정하였다.

5) 분석 방법

모든 자료는 Windows용 IBM SPSS ver21.0을 이용하여 분석하였다. 대상자의 일반적 특성은 기술통계로 분석하였다. 본 연구의 모든 종속 변수에 대해 Shapiro-Wilk test로 정규성 검정을 실시한 결과, 정규성 가정을 만족하지 않아 비모수 검정을 사용하여 데이터를 분석하였다. 가상현실기반 인지재활훈련군과 컴퓨터기반 인지재활훈련군의 그룹 내 중재 전·후 종속 변수의 차이를 비교하기 위해 Wilcoxon signed-rank test를 사용하였고, 가상현실기반 인지재활훈련군과 컴퓨터기반

인지재활훈련군의 그룹 간 종속 변수의 변화량 차이를 알아보기 위해 Mann-Whitney U test를 사용하였다. 모든 검정에서의 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

III. 연구결과

1. 대상자의 일반적 특성

대상자의 일반적인 특성은 다음과 같다(Table 1). 가상현실기반 인지재활훈련군과 컴퓨터기반 인지재활훈련군 간 성별을 제외한 나이, 키, 몸무게, K-MMSE 점수에서 집단 간 유의한 차이가 없었기 때문에($p < .05$) 성별을 제외한 두 집단 간의 일반적 특성은 정규성이 확인되었다($p > .05$).

2. 기능적 검사

가상현실기반 인지재활훈련군과 컴퓨터기반 인지

Table 1. General characteristics of the participants

	CCR Group (n = 5)		VRCR Group (n = 5)		p
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	
Gender (male/female)	1/4		4/1		.003
Age (year)	66.00 ± 5.07		69.20 ± 3.82		.200**
Height (cm)	159.20 ± 4.06		170.40 ± 4.58		.200**
Weight (kg)	59.60 ± 3.82		69.60 ± 4.87		.200**
K-MMSE (score)	26.20 ± 1.06		21.20 ± 1.39		.200**

**p > .05, SD: Standard Deviation, K-MMSE: Korean version of Mini-Mental State Examination

Table 2. Functional test between the pre-test and post-test

		Pre-test		Post-test		Z	p
		Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD		
VRCR	NCSE	61.80 ± 3.96		73.20 ± 4.55		-2.023	.043*
	K-FMA	31.80 ± 14.94		42.80 ± 14.41		-2.032	.042*
	K-MBI	49.40 ± 15.67		67.80 ± 14.36		-2.023	.043*
CCR	NCSE	54.80 ± 9.52		62.40 ± 9.45		-2.032	.042*
	K-FMA	28.40 ± 19.47		34.40 ± 19.92		-2.060	.039*
	K-MBI	50.80 ± 25.25		64.20 ± 20.59		-2.023	.043*

*p < .05, SD: Standard Deviation, NCSE: Neurobehavioral Cognitive Status Examination, K-FMA: Korean version of Fugl-Meyer Assessment, K-MBI: Korean version of Modified Barthel Index

재활훈련군의 그룹 내 중재 전·후 NCSE, K-FMA, K-MBI를 비교해 본 결과 가상현실기반 인지재활훈련군의 NCSE는 61.80 ± 3.96 에서 73.20 ± 4.55 , K-FMA는 31.80 ± 14.94 에서 42.80 ± 14.41 , K-MBI는 49.40 ± 15.67 에서 67.80 ± 14.36 으로 세 항목 모두 중재 전보다 중재 후 평가값이 유의하게 증가하였다($p < .05$)(Table 2). 컴퓨터기반 인지재활훈련군의 NCSE는 54.80 ± 9.52 에서 62.40 ± 9.45 , K-FMA는 28.40 ± 19.476 에서 34.40 ± 19.92 , K-MBI는 50.80 ± 25.25 에서 64.20 ± 20.59 로 중재 후 평가값이 유의하게 증가하였다($p < .05$)(Table 2). 가상현실기반 인지재활훈련군과 컴퓨터기반 인지

재활훈련군의 그룹 간 비교 결과 K-MBI를 제외한 NCSE, K-FMA에서 가상현실기반 인지재활훈련군이 컴퓨터기반 인지재활훈련군보다 유의한 차이를 보였다($p < .05$)(Table 3).

3. 전전두엽 피질의 뇌활성도 비교

Corsi-block test에서 가상현실기반 인지재활훈련군은 중재 전보다 중재 후에 뇌활성도가 감소하였지만 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며($p > .05$), 컴퓨터기반 인지재활훈련군은 중재 전보다 중재 후에 관심영역의 뇌활성도가 증가하였지만 통계학적으로

Table 3. Comparison of the functional test mean differences between the groups

	VRCR Group		CCR Group		Z	p
	Mean	± SD	Mean	± SD		
NCSE	11.40	± 3.20	7.60	± 2.07	-2.003	.045*
K-FMA	11.00	± 3.08	6.00	± 0.70	-2.652	.008*
K-MBI	18.40	± 9.94	13.40	± 7.09	-1.048	.295

* $p < .05$, SD: Standard Deviation, NCSE: Neurobehavioral Cognitive Status Examination, K-FMA: Korean version of Fugl-Meyer Assessment, K-MBI: Korean version of Modified Barthel Index

Table 4. Comparison of the Corsi-block between the pre-test and post-test

		Pre-test		Post-test		Z	p
		Mean	± SD	Mean	± SD		
Left FPC	VRCR	.14	± .33	.02	± .08	-.674	.500
	CCR	-.10	± .32	.10	± .35	-.135	.893
Right FPC	VRCR	.19	± .24	-.01	± .05	-1.753	.080
	CCR	-.03	± .26	.22	± .33	-.944	.345

Right FPCSD: Standard Deviation, FPC: Frontopolar Prefrontal Cortex

Table 5. Comparison of the Stroop color and word test between the pre-test and post-test

		Pre-test		Post-test		Z	p
		Mean	± SD	Mean	± SD		
Left FPC	VRCR	.17	± .13	.07	± .15	-.944	.345
	CCR	.28	± .52	.02	± .17	-1.214	.225
Right FPC	VRCR	.11	± .11	.08	± .04	-1.214	.225
	CCR	.09	± .18	-.08	± .23	-.674	.500

Right FPCSD: Standard Deviation, FPC: Frontopolar Prefrontal Cortex

Table 6. Comparison of mean differences between the groups

		VRCR		CCR		Z	p
		Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD		
Left FPC	Corsi-block	-.12 ± .15	.20 ± .27	-.313	.754		
	Stroop color and word	-.10 ± .08	-.26 ± .22	-.313	.754		
Right FPC	Corsi-block	-.20 ± .11	.25 ± .24	-1.567	.117		
	Stroop color and word	-.03 ± .07	-.17 ± .14	-.731	.465		

SD: Standard Deviation, FPC: Frontopolar Prefrontal Cortex

유의하지 않았다($p > .05$)(Table 4). Stroop color and word test에서 가상현실기반 인지재활훈련군과 컴퓨터기반 인지재활훈련군 모두 중재 전보다 중재 후에 관심영역의 뇌활성도가 감소함을 보였지만 두 결과 모두 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p > .05$)(Table 5). 두 그룹 간 중재 전·후 변화량을 비교한 결과 Corsi-block test, Stroop color and word test 모두 유의미한 결과를 얻지 못했다($p > .05$)(Table 6).

IV. 고 찰

본 연구는 가상현실기반 인지재활 프로그램과 컴퓨터기반 인지재활 프로그램을 적용하여 회복기 뇌졸중 환자 대상으로 신체 및 인지기능과 전전두엽 피질의 활성화에 미치는 효과를 알아보고자 하였다. 두 집단의 인지기능 변화를 확인하기 위해 NCSE, 상지기능은 K-FMA, 일상생활동작은 K-MBI를 이용하였고, 전전두엽 뇌활성도는 fNIRS를 이용하여 사전, 사후에 측정하였다. 분석 결과, 두 그룹 모두 중재전보다 인지기능, 상지기능, 일상생활동작 수행능력이 유의하게 증가하였다. 전전두엽 피질 중 관심영역의 활성화는 가상현실기반 인지재활군에서만 활성화도가 감소한 것으로 나타났다.

두 그룹 내 인지기능, 상지기능, 일상생활동작에 미치는 영향을 알아본 결과, 모든 그룹에서 중재전보다 중재후에 NCSE, K-FMA, K-MBI 평가 값이 모두 유의하게 증가하였다. 그룹간 비교결과, 가상현실기반 인지재활군과 컴퓨터기반 인지재활군의 NCSE와 K-FMA 평가 값에서 유의한 차이를 보였다. 이는 뇌졸중 환자대상 가상현실 인지프로그램을 적용한 선행연구의 결과

와 일치하였는데, 우수한 결과를 보이는 이유는 다음과 같은 여러 가지 요인들이 복합적으로 작용하기 때문이다. 첫째, 가상현실은 실제와 유사한 3D환경을 제공함으로써 사용자의 참여도와 집중력이 높아지고 훈련의 효과를 증가시킨다[24]. 둘째, 가상현실프로그램은 사용자의 행동에 따라 실시간 피드백을 제공하여 효과적인 학습경험을 제공하고 빠르게 기술습득하는데 도움이 된다[25]. 셋째, 가상현실프로그램은 게임 요소를 도입함으로써 사용자의 동기를 유지하고 재미있게 활동을 수행하여 사용자의 참여도를 높이고 우수한 결과를 유도할 수 있다[26]. 이러한 요인들이 복합적으로 작용하여 가상현실기반 인지재활훈련군의 성과를 높인 것으로 추정할 수 있다.

본 연구에서는 가상현실 기반 인지재활훈련과 컴퓨터 기반 인지재활훈련의 치료 효과를 비교하기 위해 신체 및 인지 기능과 전전두엽 피질 활성도를 종속 변수로 선택하였다. 뇌졸중 환자들에게 인지 및 신체 기능 개선이 큰 의미를 갖는데, 이는 뇌졸중 환자들의 재활에서 인지 기능 및 신체 기능의 회복이 장기적인 삶의 질 향상에 큰 도움이 되기 때문이다[27,28]. 인지 재활 훈련은 인지 기능의 개선을 통해 일상생활 능력, 사회 참여 및 정신 건강에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다[29]. 이 외에도 전전두엽 피질 활성화 측정은 인지 재활 훈련의 신경생리학적 효과를 평가하는 중요한 방법으로, 이를 통해 각 프로그램이 뇌 활동에 미치는 영향을 파악할 수 있다[30]. 이렇게 종속 변수를 선정함으로써, 가상현실 기반 인지재활훈련과 컴퓨터 기반 인지재활 훈련의 치료 효과를 종합적으로 평가하고, 두 프로그램 간의 차이를 명확히 할 수 있다.

컴퓨터기반 인지재활 프로그램은 환자들에게 다양한 인지 과제를 제공하며, 이 과정에서 반복적인 훈련을 통해 뇌가소성(brain plasticity)을 촉진시킨다. 뇌졸중 환자대상으로 컴퓨터기반 인지재활 프로그램을 제공한 연구에서 인지기능과 일상생활능력이 증가하였다고 보고되어 뇌졸중 환자에게 인지 및 신체 기능의 개선에 도움을 줄 수 있다[31]. 그러나 일부 연구에서는 컴퓨터기반 인지재활 프로그램의 효과가 제한적이라는 결과가 나타났다[32]. 컴퓨터기반 인지재활 프로그램은 현실감이 상대적으로 부족할 수 있어, 전이효과가 상대적으로 떨어질 수 있다는 한계를 가지고 있다. 향후 인지재활 프로그램 선택시 이를 감안하여 개별 환자의 상태와 요구에 맞춰 적절한 인지재활 프로그램을 선정하는 것이 중요하다.

일반적으로 연령이 증가함에 따라 신경 처리(neural process)의 질이 저하될 수 있으며, 이에 따른 뇌가소성을 설명하는 여러 모델이 제안되었다[33]. 그 중 보상 모델(compensatory model)은 노화된 뇌에서 특정 영역(specialized areas)의 활성화 증가와 추가적인 뇌 네트워크(brain network) 동원을 통해 최적의 인지 기능을 유지한다고 설명한다[34]. 경도인지장애 환자에서 인지훈련 전후에 활성화된 영역과 새로운 대체 영역을 포함한 넓은 네트워크에서 활성화가 증가하는 것으로 나타났다[35]. 이러한 결과는 건강한 대조군과 비교하여 더 넓은 활성화가 경도인지장애 환자의 뇌에서 인지 기능을 유지하는 보상전략으로 설명하였다[31,36]. 본 연구에서는 뇌의 전전두엽 피질만 측정되어 다른 검출되지 않은 영역에서 보상 활성화가 있는지 확인할 수 없었다. 하지만 전전두엽 피질중 관심영역인 Left FPC와 Right FPC 활성화 변화를 분석한 결과, 통계적으로 유의하지 않았지만 가상현실기반 인지재활군에서는 Corsi-block test와 Stroop color and word test 수행 시 활성도가 감소하는 것으로 나타났고 컴퓨터기반 인지재활군에서는 Corsi-block test 수행시만 활성도가 감소하는 것으로 관찰되었다. 이는 훈련후 뇌의 활성화가 감소하는 것은 가상현실기반 인지재활로 인해 유사한 인지 수행능력을 달성하기 위해 더 적은 에너지 또는 더 적은 네트워크가 필요한 신경 효율성 증가로 볼 수 있다. 이는 Anguera

등(2013)의 연구에서도 관찰된 바로, 신경 효율성의 증가로 인해 FPC 영역의 뇌활성도가 감소했다는 결과와 일치한다[37]. 이러한 결과는 가상현실 기반 인지재활 프로그램이 환자들의 참여도와 집중력을 높이는 데 도움이 되어 뇌졸중 환자들의 인지 및 신체 기능 개선에 더욱 효과적일 수 있음을 시사한다.

본 연구에서 검토한 컴퓨터기반 인지재활과 가상현실기반 인지재활 프로그램은 뇌졸중 환자들의 인지 및 신체 기능 개선에 긍정적인 효과를 나타냈으나, 몇 가지 한계점이 존재한다. 먼저, 이 연구는 사전 연구로서 대상자 수가 10명으로 제한적이라는 점이다. 이로 인해 일반화의 어려움이 존재하며, 통계적 검증력이 상대적으로 약할 수 있다. 앞으로 연구대상자를 더욱 확대하여 연구를 진행하는 것이 필요하다. 또한, 본 연구에서 사용된 평가 방법만을 이용하여 연구를 수행하였기 때문에, 다양한 평가 도구를 통한 결과의 타당성을 확인할 수 없었다. 향후 연구 방향으로서는 대상자 수를 늘려 다양한 연령, 성별, 뇌졸중 유형 및 중증도의 환자들을 포함하여 일반화 가능성을 높이는 것이 중요하다. 둘째, 다양한 평가 도구를 사용하여 인지 및 신체 기능 개선에 대한 폭넓은 검증을 수행할 필요가 있다. 셋째, 컴퓨터기반 인지재활 프로그램과 가상현실기반 인지재활 프로그램 간의 직접적인 비교 연구를 통해, 각 프로그램의 장단점 및 적합한 상황을 명확히 하는 것이 도움이 될 것이다. 마지막으로, 장기 추적 연구를 통해 인지재활 프로그램의 지속적인 효과와 안정성에 대한 평가를 수행하는 것이 필요하다.

V. 결론

본 연구는 회복기 뇌졸중 환자들을 대상으로 컴퓨터기반 인지재활 프로그램과 가상현실기반 인지재활 프로그램의 효과를 비교하였다. 결과적으로, 두 프로그램 모두 인지기능, 상지기능, 일상생활동작 수행능력에 긍정적인 효과를 보였으며, 특히 가상현실기반 인지재활 프로그램은 전전두엽 피질의 활성화에도 영향을 미쳤다. 이러한 결과는 가상현실 프로그램이 높은 참여도, 집중력, 실시간 피드백 및 게임 요소를 통해 뇌졸중

환자들의 인지 및 신체 기능 개선에 기여할 수 있음을 시사한다. 이 연구의 결과를 바탕으로, 뇌졸중 환자들의 인지 및 신체 기능 개선을 위해 컴퓨터기반 인지재활 프로그램과 가상현실기반 인지재활 프로그램을 적절하게 선택하고 적용하는 것이 중요하다. 이를 통해 뇌졸중 환자들의 삶의 질 향상과 더 나은 회복을 이루어 낼 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgements

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020R1F1A1071694).

References

- [1] Feigin VL, Forouzanfar MH, Krishnamurthi R, et al. Global and regional burden of stroke during 1990-2010: findings from the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet*. 2014;383(9913):245-54.
- [2] Bernhardt J, Hayward KS, Kwakkel G, et al. Agreed definitions and a shared vision for new standards in stroke recovery research: The stroke recovery and rehabilitation roundtable taskforce. *Neurorehabil Neural Repair*. 2017;31(9):793-9.
- [3] Hachinski V. Vascular dementia: a radical redefinition. *Dementia*. 1994;5(3-4):130-2.
- [4] Nys GM, van Zandvoort MJ, de Kort PL, et al. The prognostic value of domain-specific cognitive abilities in acute first-ever stroke. *Neurol*. 2005;64(5):821-7.
- [5] Radomski MV, Latham CAT. Occupational therapy for physical dysfunction. Lippincott Williams & Wilkins. 2008.
- [6] Brookes RL, Willis TA, Patel B, et al. Depressive symptoms as a predictor of quality of life in cerebral small vessel disease, acting independently of disability; a study in both sporadic small vessel disease and CADASIL. *Int J Stroke*. 2013;8(7):510-7.
- [7] Skidmore ER, Whyte EM, Holm MB, et al. Cognitive and affective predictors of rehabilitation participation after stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 2010;91(2):203-7.
- [8] Yang NY, Park HS, Yoon TH, et al. Effectiveness of motion-based virtual reality training(Joystim) on cognitive function and activities of daily living in patients with stroke. *J of RWEAT*. 2018;12(1):10-9.
- [9] Park DS, Shin GI, Woo YS, et al. A study on the effectiveness of rehabilitation by virtual reality program: systematic review. *Journ Rehabil Res*. 2018;22(3):209-24.
- [10] Park JG. Effects of spatial cognitive training based on virtual reality on prefrontal cortex of older adults with mild cognitive impairment: single subject design. *The Journal of Kor Soc Cogn Rehabil*. 2019;8(2):23-41.
- [11] Pichierri G, Wolf P, Murer K, et al. Cognitive and cognitive-motor interventions affecting physical functioning: a systematic review. *BMC geriatrics*. 2011;11(1):1-19.
- [12] Lohse KR, Hilderman CG, Cheung KL, et al. Virtual reality therapy for adults post-stroke: A systematic review and meta-analysis exploring virtual environments and commercial games in therapy. *PloS one*. 2014;9(3): e93318.
- [13] Nijland R, van Wegen EE, Verbunt J, et al. A comparison of two validated tests for upper limb function after stroke: The Wolf Motor Function Test and the Action Research Arm Test. *J Rehabil Med*. 2010;42(7):694-6.
- [14] Subramanian SK, Lourenço CB, Chilingaryan G, et al. Arm motor recovery using a virtual reality intervention in chronic stroke: randomized control trial. *Neurorehabil Neur Rep*. 2013;27(1):13-23.
- [15] Kiernan RJ, Mueller J, Langston JW, et al. The neurobehavioral cognitive status examination: A brief but differentiated approach to cognitive assessment. *Ann Int Med*. 1987;107(4):481-5.
- [16] Jung W, Choi H, Park K. Neurobehavioral cognitive status examination (NCSE) in brain-injured patients. *J Korean Soc Occup Ther*. 1999;7(1):1-16.

- [17] Fugl-Meyer AR, Jääskö L, Leyman I, et al. A method for evaluation of physical performance. *Scand J Rehabil Med.* 1975;7(1):13-31.
- [18] Singer B, Garcia-Vega J. The Fugl-Meyer upper extremity scale. *J Physiother.* 2017;63(1):53.
- [19] Jung HY, Han TR, Park BK, et al. Development of the Korean version of Modified Barthel Index (K-MBI): Multi-center study for subjects with stroke. *ARM.* 2007;31(3):283-97.
- [20] Jung HY, Park BK, Shin HS, et al. Development of the Korean version of Modified Barthel Index (K-MBI): multi-center study for subjects with stroke. *J Kor Acad of Rehabil Med.* 2007;31(3):283-97.
- [21] Shuvra LT, Islam SMR, Zaman N, et al. Analysis of hemodynamic response function using fNIRS. 2018 International Conference on Innovation in Engineering and Technology (ICIET). IEEE. 2018:1-6.
- [22] Yoon JA, Kong IJ, Choi JK, et al. Neural compensatory response during complex cognitive function tasks in mild cognitive impairment: a near-infrared spectroscopy study. *Neural Plast.* 2019;7:8
- [23] OBELAB Inc.: NIRSIT Channel Information, 2022. Qvailable at <https://www.obelab.com/info/notice.php>. 2022.
- [24] Laver K, Lange B, George S, et al. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane database of systematic reviews*, 2017;11:1465-1858.
- [25] Proffitt R, Lange B. Considerations in the efficacy and effectiveness of virtual reality interventions for stroke rehabilitation: moving the field forward. *Physic Ther.* 2015;95(3):441-8.
- [26] Levin MF, Snir O, Liebermann DG, et al. Virtual reality versus conventional treatment of reaching ability in chronic stroke: clinical feasibility study. *Neurol Ther.* 2012;1:1-15.
- [27] van de Ven RM, Schmand B, Groet E, et al. The effect of computer-based cognitive flexibility training on recovery of executive function after stroke: Rationale, design and methods of the TAPASS study. *BMC neurology.* 2015;15(1):1-12.
- [28] Cicerone KD, Goldin Y, Ganci K, et al. Evidence-based cognitive rehabilitation: systematic review of the literature from 2009 through 2014. *Arch Phys Med Rehabil.* 2019;100(8):1515-33.
- [29] Kueider AM, Parisi JM, Gross AL, et al. Computerized cognitive training with older adults: a systematic review. *PloS one.* 2012;7(7):e40588.
- [30] Lezak MD, Howieson DB, Loring DW, et al. *Neuropsychological assessment.* Oxford University Press, USA. 2004.
- [31] Lövdén M, Bäckman L, Lindenberger U, et al. A theoretical framework for the study of adult cognitive plasticity. *Psycholog bullet.* 2010;136(4):659.
- [32] das Nair R, Cogger H, Worthington E, et al. Cognitive rehabilitation for memory deficits after stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2016;9(9):1-63.
- [33] Cabeza R. Hemispheric asymmetry reduction in older adults: the HAROLD model. *Psychology and aging.* 2002;17(1):85.
- [34] Lustig C, Shah P, Seidler R, et al. Aging, training, and the brain: a review and future directions. *Neuropsychology Review.* 2009;19:504-22.
- [35] Belleville S. Cognitive training for persons with mild cognitive impairment. *Internat Psychoger.* 2008; 20(1): 57-66.
- [36] Engvig A, Fjell AM, Westlye LT, et al. Memory training impacts short-term changes in aging white matter: A longitudinal diffusion tensor imaging study. *Hum Brain Map.* 2012;33(10):2390-406.
- [37] Anguera JA, Boccanfuso J, Rintoul JL, et al. Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature.* 2013;501(7465):97-101.