

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2024-0074607
(43) 공개일자 2024년05월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

A61N 1/36 (2006.01) A61B 5/00 (2021.01)
A61B 5/055 (2006.01) A61B 5/374 (2021.01)
A61M 21/00 (2006.01) A61N 1/04 (2006.01)

(52) CPC특허분류

A61N 1/36025 (2013.01)
A61B 5/0042 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0000531

(22) 출원일자 2023년01월03일

심사청구일자 2023년01월03일

(30) 우선권주장

1020220156779 2022년11월21일 대한민국(KR)

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

민병경

서울특별시 강동구 상암로 325, 1동 301호

박제춘

경기도 성남시 분당구 정자로 115, 501동 606호
(뒷면에 계속)

(74) 대리인

윤귀상

전체 청구항 수 : 총 11 항

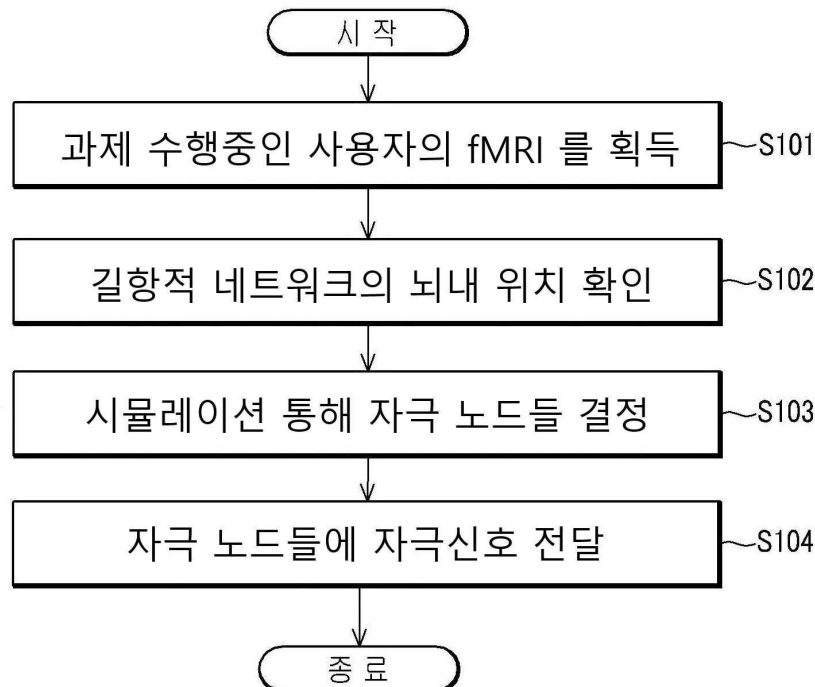
(54) 발명의 명칭 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법 및 그 장치

(57) 요약

본 발명의 일실시예는 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법에 있어서, 특정 인지 과제를 수행중인 사용자의 fMRI를 획득하는 단계; 상기 fMRI를 이용하여 상기 특정 인지 과제 수행시의 뇌의 기본 모드 네트워크(default mode network: DMN), 중앙 처리 네트워크(central executive

(뒷면에 계속)

대표도 - 도4



network: CEN) 및 현저성 네트워크(saliency network: SAN)를 포함하는 길항적 (anti-correlation) 네트워크의 뇌내 위치 (coordination)를 확인하는 단계; 상기 뇌내 위치에 대한 자극 목표를 달성할 수 있도록 하는 두피 상의 자극 노드들의 위치를 시뮬레이션을 통해 결정하는 단계; 상기 시뮬레이션을 통해 상기 사용자에게 미리 맞춤형 자극 파라미터들의 함수로 이루어진 자극신호를 상기 노드들을 통해 전달하여 상기 길항작용을 증진시키거나 억제시키는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는, 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법을 제공한다.

(52) CPC특허분류

A61B 5/055 (2022.01)

A61B 5/374 (2022.01)

A61B 5/4088 (2013.01)

A61M 21/00 (2013.01)

A61N 1/0456 (2013.01)

A61N 1/36031 (2017.08)

A61M 2021/0072 (2013.01)

(72) 발명자

서지혜

서울특별시 송파구 잠실로 62, 305동 2002호

권정욱

서울특별시 서초구 양재대로2길 109

김유경

경기도 용인시 수지구 신봉3로12번길 9, 401동 1702호

이제협

서울특별시 광진구 용마산로 174, 102동 1002호

김형규

서울특별시 마포구 월드컵로 338, 308동 503호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711156016
과제번호	2020M3C1B8081319
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	휴먼플러스융합연구개발챌린지사업
연구과제명	비침습적 뇌자극-뇌파 동조 기반 뇌기능 증강연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교 산학협력단
연구기간	2020.04.01 ~ 2024.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법에 있어서,

특정 인지 과제를 수행중인 사용자의 fMRI를 획득하는 단계;

상기 fMRI를 이용하여 상기 특정 인지 과제 수행시의 뇌의 기본 모드 네트워크(default mode network: DMN), 중앙 처리 네트워크(central executive network: CEN) 및 현저성 네트워크(salience network: SAN)를 포함하는 길항적 (anti-correlation) 네트워크의 뇌내 위치 (coordination)를 확인하는 단계;

상기 뇌내 위치에 대한 자극 목표를 달성할 수 있도록 하는 두피 상의 자극 노드들의 위치를 시뮬레이션을 통해 결정하는 단계;

상기 시뮬레이션을 통해 상기 사용자에게 미리 맞춤된 자극 파라미터들의 함수로 이루어진 자극신호를 상기 노드들을 통해 전달하여 상기 길항작용을 증진시키거나 억제시키는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는, 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 자극 파라미터들은

상기 사용자가 상기 특정 인지 과제를 수행할 때 발생하는 개인별 고유 뇌파(EEG) 주파수, 상기 자극신호의 위상, 자극 강도(intensity) 및 자극 시간 (duration)을 포함하며,

상기 자극 노드들에 인가되는 자극신호는 상기 자극 파라미터들 중 적어도 하나에 차이가 나도록 인가되는 것을 특징으로 하는, 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 길항적 (anti-correlation) 네트워크의 뇌내 위치 (coordination)를 확인하는 단계는,

상기 fMRI를 이용하여, 해당 인지 과제 수행시 상기 사용자의 DMN의 뇌 활성화 영역 중 복수의 위치를 제1 위치로 확인하는 단계; 및

상기 fMRI를 이용하여, 해당 인지 과제 수행시 상기 사용자의 CEN의 뇌 활성화 영역 중 복수의 위치를 제2 위치로 확인하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는, 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 제1 위치는 하나의 상기 DMN에 속하여 동시에 자극되는 내측 전전두엽 피질(medial prefrontal cortex; mPFC)과 후측 대상 피질(posterior cingulate cortex; PCC)을 포함하며,

상기 제2 위치는 하나의 CEN에 속하여 동시에 자극되는 DLPFC(dorsolateral prefrontal cortex)와 PPC(posterior parietal cortex)를 포함하는 것을 특징으로 하는, 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌

자극을 이용한 인지 기능 증강 방법.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 두피 상의 자극 노드들의 위치를 시뮬레이션을 통해 결정하는 단계에서,

상기 제1 위치에 자극 목표를 달성할 수 있도록 하는 하나 이상의 제1 자극 노드와, 상기 제2 위치에 자극 목표를 달성할 수 있도록 하는 하나 이상의 제2 자극 노드가 시뮬레이션을 통해 결정되는 것을 특징으로 하는,

뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 특정 인지 과제는 작업기억(working memory), 억제 제어(inhibitory control) 기능, 판단 지각(perception) 기능 중 하나이고,

상기 각 인지 과제 수행시 해당 활성영역 뇌파의 공진을 유도하거나 억제하도록, 상기 하나 이상의 제1 자극 노드와 상기 하나 이상의 제2 자극 노드 간에는 자극 파라미터들의 차이의 조합이 시뮬레이션 되어 상기 자극신호가 생성되는 것을 특징으로 하는,

뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법.

청구항 7

청구항 2에 있어서,

상기 뇌내 위치 (coordination)를 확인하는 단계는 상기 현저성 네트워크(salience network: SAN)의 활성영역으로서 하나의 SAN에 속하여 동시에 자극되는 뇌섬(Insular)과 전측 대상 피질(Anterior Cingulate Cortex: dACC)을 포함하는 제3 위치를 확인하는 단계;를 포함하며,

상기 시뮬레이션 단계는 상기 제3 위치를 자극하기 위한 추가의 자극 노드들을 결정하는 단계를 포함하며,

상기 길항작용을 증진시키거나 억제시키는 단계는 상기 시뮬레이션을 통해 상기 사용자에게 미리 맞춤형 자극 파라미터들의 함수로 이루어진 자극신호를 상기 추가의 자극 노드들을 통해 전달하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는,

뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법.

청구항 8

뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 장치에 있어서,

특정 인지 과제를 수행중인 사용자의 fMRI를 획득하는 입력부;

상기 fMRI를 이용하여 상기 특정 인지 과제 수행시의 뇌의 기본 모드 네트워크(default mode network: DMN), 중앙 처리 네트워크(central executive network: CEN) 및 현저성 네트워크(salience network: SAN)를 포함하는 길항적 (anti-correlation) 네트워크의 뇌내 위치 (coordination)를 확인하는 뇌내 위치 확인부;

상기 뇌내 위치에 대한 자극 목표를 달성할 수 있도록 하는 두피 상의 자극 노드들의 위치를 시뮬레이션을 통해 결정하는 시뮬레이션부;

상기 시뮬레이션을 통해 상기 사용자에게 미리 맞춤형 자극 파라미터들의 함수로 이루어진 자극신호를 생성하는

자극신호 생성부; 및

상기 자극신호 생성부로부터의 자극신호를 상기 자극 노드들에 인가하는 전극 모듈;을 포함하는 것을 특징으로 하는, 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 장치.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 자극신호 생성부가 생성하는 상기 자극 파라미터들은 상기 사용자가 상기 특정 인지 과제를 수행할 때 발생하는 개인별 고유 뇌파(EEG) 주파수, 상기 자극신호의 위상, 자극 강도(intensity) 및 자극 시간(duration)을 포함하며,

상기 자극신호 생성부는 상기 자극 노드들에 인가되는 자극신호는 상기 자극 파라미터들 중 적어도 하나에 차이가 나도록 생성하는 것을 특징으로 하는, 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 장치.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 뇌내 위치 확인부는, 상기 길항적(anti-correlation) 네트워크의 뇌내 위치(coordination)를 확인하는 과정에서,

상기 fMRI를 이용하여, 해당 인지 과제 수행시 상기 사용자의 DMN의 뇌 활성화 영역 중 복수의 위치를 제1 위치로 확인하고,

상기 fMRI를 이용하여, 해당 인지 과제 수행시 상기 사용자의 CEN의 뇌 활성화 영역 중 복수의 위치를 제2 위치로 확인하며,

상기 제1 위치는 하나의 상기 DMN에 속하여 동시에 자극되는 내측 전전두엽 피질(medial prefrontal cortex; mPFC)과 후측 대상 피질(posterior cingulate cortex; PCC)을 포함하며,

상기 제2 위치는 하나의 CEN에 속하여 동시에 자극되는 DLPFC(dorsolateral prefrontal cortex)와 PPC(posterior parietal cortex)를 포함하는 것을 특징으로 하는, 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법.

청구항 11

청구항 10에 있어서,

상기 시뮬레이션부는 상기 두피 상의 자극 노드들의 위치를 시뮬레이션을 통해 결정하는 과정에서,

상기 제1 위치에 자극 목표를 달성할 수 있도록 하는 하나 이상의 제1 자극 노드와, 상기 제2 위치에 자극 목표를 달성할 수 있도록 하는 하나 이상의 제2 자극 노드가 시뮬레이션을 통해 결정하며,

상기 특정 인지 과제는 작업기억(working memory), 억제 제어(inhibitory control) 기능, 판단 지각(perception) 기능 중 하나이고,

상기 자극신호 생성부는 상기 각 인지 과제 수행시 해당 활성화영역 뇌파의 공진을 유도하거나 억제하도록, 상기 하나 이상의 제1 자극 노드와 상기 하나 이상의 제2 자극 노드 간에 자극 파라미터들의 차이가 나도록 조합하여 상기 자극신호를 생성하는 것을 특징으로 하는, 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법 및 그 장치에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 교류 자극 장치를 이용하는 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법 및 그 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0003] 일반적으로 전기를 다루는 의학 기술은 과학 기술의 진보와 함께 많은 발전이 있었으며, 현재 뇌심부 자극술(deep brain stimulation)은 파킨슨병의 치료에 사용되고 있다. 그러나 침습 과정에서 필연적으로 발생하는 미세 두뇌 손상, 뇌수술 요구 등의 이유로 저비용, 저위험성을 가진 비침습 두뇌자극술이 각광받고 있다. 비침습 두뇌자극술로서 경두개전류자극술(tCS: transcranial Current brain Stimulation)에는 tDCS(transcranial Direct Current Method), tACS(transcranial Alternating Current Method), tRNS(transcranial Random Noise Method) 등이 있다. tCS는 약물과 병행이 가능하며, 약물 치료와는 독립적인 기전의 치료법을 가지고 있어 뇌 부위를 조절하여 증상을 호전시킬 수 있다는 점에서 기대를 주고 있다. 미국(clinicaltrials.gov)과 국내(Clinical Research information Service)에서는 급속한 임상연구 사례가 늘고 있으며 관련 연구 결과들이 활발하게 보고되고 있다.

[0004] tDCS는 일정한 세기의 직류 전류를 사용하여 뇌를 자극하는 기술이다. 경두개자기자극술(tMS: transcranial Magnetic Stimulation)이 신경의 막전위 변화를 유발한다면, tDCS는 전류를 통해 직접적으로 신경을 활성화한다. 자극하려는 목표에 양극 전극(anode)을 위치하고 음극 전극(cathode)은 기준 전극이 되어 전류 회로를 생성하며, 양극에서는 신경 활성화, 음극에서는 신경 억제가 일어난다. tACS는 교류 전류를 사용하여 뇌 진동 변화를 유도한다. tACS를 이용하면 뇌 진동 활동의 동조, 비동조가 일어나 뇌를 변화시킨다. 주파수 특성에 따라 인지, 정서, 행동 등에 영향을 미친다.

[0005] 이와 같은 비침습 경두개 전류 자극(tCS: transcranial Current Stimulation)이 인지 능력 개선, 운동 활동 개선 등 뇌 생리에 긍정적인 작용을 미친다는 연구 결과가 지속적으로 보고되고 있다. 그러나 종래의 대부분의 연구는 머리 전체 중 특정 부분에 집중적으로 전기 자극을 준다. 그러나 뇌의 일반적인 현상은 평상시에 운용하고 있는 기본 모드 네트워크(default mode network: DMN)가 있고, 이 네트워크와 길항 작용을 하는 중앙 처리 네트워크(central executive network: CEN)가 있다.

[0006] 도 1은 뇌의 기본 모드 네트워크와 중앙 처리 네트워크를 나타내는 도면이다.

[0007] 도 1을 참조하면, DMN의 대표적인 뇌 영역은 mPFC (medial prefrontal cortex), PCC (posterior cingulate cortex) 등이 있고, CEN의 대표적인 뇌 영역은 DLPFC(dorsolateral prefrontal cortex)나 PPC(posterior parietal cortex) 등이 있다. 일반적으로 DMN과 CEN은 하나의 네트워크 기능이 증진하면, 다른 하나의 네트워크 기능은 감소하고, 하나의 네트워크 기능이 감소하면 다른 하나의 네트워크 기능은 증가하는 관계를 가져서 서로 간에 길항적 네트워크이다. 또한 뇌섬(insular) 등의 뇌 영역은 이 두 네트워크의 스위치 역할을 한다고 알려진 현저성 네트워크(salience network: SAN)로 불린다.

[0008] 도 2는 종래의 경두개 전류 자극 기술을 나타내는 도면이다. 도 3은 도 2에서 전류 자극의 위상차를 나타내는 도면이다.

[0009] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 종래의 기술들은 도 1에서 설명된 길항작용을 하는 네트워크 개념이 결여되어 있고, 다중 위치 자극은 거의 없고, 도 2에 제시된 바와 같이 대표적인 한군데 썩의 자극 간에 비교했으며, 또한, 수행한 인지 과제가 제한적 이어서, 결과를 일반화하기에는 실험 결과가 미흡한 점이 있다. 즉, 단지 두피상의 대표적인 자극 위치(예, 전두엽 아니면, 후두엽의 전형적 대표 자극 전극)이고, 위상차도 단순히 0도 아니면 180도의 이분법적 위상 차이에 대한 기술들이 간헐적으로 개시되고 있어서, 특별히 신경 생리학적 배경이나 구체적인 가설이 없이 개발된 기술들이라는 점에서 인지 기능 증강에 미흡한 점이 많다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는, 전술된 뇌의 네트워크 모드 간에 길항적 현상을 더 좁히거나 더 벌리는 뇌자극을 가함으로써 작업기억(working memory), 억제 제어(inhibitory control) 기능, 판단 지각(perception) 기능에서, 해당 인지 기능을 증진하거나 억제함에 있어서 효과를 증강시키는, 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법 및 그 장치를 제공하는 것이다.
- [0012] 또한, 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는, 수행하고 있는 인지 과제와 관련한, 뇌의 길항 (anti-correlation) 작용 관계에 있는 서로 다른 네트워크에 주어지는 뇌자극 신호의 위상(phase), 자극 강도(intensity), 자극 시간(duration) 등의 파라미터의 차이를 이용하여, 해당 인지 기능을 선택적이고, 의도적으로 제어할 수 있는 비침습적 뇌자극 전류 자극 기술로서, 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법 및 그 장치를 제공하는 것이다.
- [0013] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 이상에서 언급한 기술적 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0015] 상기 기술적 과제를 달성하기 위하여, 본 발명의 일실시예는 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법에 있어서, 특정 인지 과제를 수행중인 사용자의 fMRI를 획득하는 단계; 상기 fMRI를 이용하여 상기 특정 인지 과제 수행시의 뇌의 기본 모드 네트워크(default mode network: DMN), 중앙 처리 네트워크(central executive network: CEN) 및 현저성 네트워크(salience network: SAN)를 포함하는 길항적 (anti-correlation) 네트워크의 뇌내 위치 (coordination)를 확인하는 단계; 상기 뇌내 위치에 대한 자극 목표를 달성할 수 있도록 하는 두피 상의 자극 노드들의 위치를 시뮬레이션을 통해 결정하는 단계; 상기 시뮬레이션을 통해 상기 사용자에게 미리 맞춤된 자극 파라미터들의 함수로 이루어진 자극신호를 상기 노드들을 통해 전달하여 상기 길항작용을 증진시키거나 억제시키는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는, 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법을 제공한다.
- [0016] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 자극 파라미터들은 상기 사용자가 상기 특정 인지 과제를 수행할 때 발생하는 개인별 고유 뇌파(EEG) 주파수, 상기 자극신호의 위상, 자극 강도(intensity) 및 자극 시간(duration)을 포함하며, 상기 자극 노드들에 인가되는 자극신호는 상기 자극 파라미터들 중 적어도 하나에 차이가 나도록 인가될 수 있다.
- [0017] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 길항적 (anti-correlation) 네트워크의 뇌내 위치 (coordination)를 확인하는 단계는, 상기 fMRI를 이용하여, 해당 인지 과제 수행시 상기 사용자의 DMN의 뇌 활성화 영역 중 복수의 위치를 제1 위치로 확인하는 단계; 및 상기 fMRI를 이용하여, 해당 인지 과제 수행시 상기 사용자의 CEN의 뇌 활성화 영역 중 복수의 위치를 제2 위치로 확인하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0018] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 제1 위치는 하나의 상기 DMN에 속하여 동시에 자극되는 내측 전전두엽 피질 (medial prefrontal cortex; mPFC)과 후측 대상 피질 (posterior cingulate cortex; PCC)을 포함하며, 상기 제2 위치는 하나의 CEN에 속하여 동시에 자극되는 DLPFC(dorsolateral prefrontal cortex)와 PPC (posterior parietal cortex)를 포함할 수 있다.
- [0019] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 두피 상의 자극 노드들의 위치를 시뮬레이션을 통해 결정하는 단계에서, 상기 제1 위치에 자극 목표를 달성할 수 있도록 하는 하나 이상의 제1 자극 노드와, 상기 제2 위치에 자극 목표를 달성할 수 있도록 하는 하나 이상의 제2 자극 노드가 시뮬레이션을 통해 결정될 수 있다.
- [0020] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 특정 인지 과제는 작업기억(working memory), 억제 제어(inhibitory control) 기능, 판단 지각(perception) 기능 중 하나이고, 상기 각 인지 과제 수행시 해당 활성화영역 뇌파의 공진을 유도하거나 억제하도록, 상기 하나 이상의 제1 자극 노드와 상기 하나 이상의 제2 자극 노드 간에는 자극 파라미터들의 차이의 조합이 시뮬레이션 되어 상기 자극신호가 생성될 수 있다.
- [0021] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 뇌내 위치 (coordination)를 확인하는 단계는 상기 현저성 네트워크(salience network: SAN)의 활성화영역으로서 하나의 SAN에 속하여 동시에 자극되는 뇌섬(Insular)과 전측 대상 피질

(Anterior Cingulate Cortex: dACC)을 포함하는 제3 위치를 확인하는 단계;를 포함하며, 상기 시뮬레이션 단계는 상기 제3 위치를 자극하기 위한 추가의 자극 노드들을 결정하는 단계를 포함하며, 상기 길항작용을 증진시키거나 억제시키는 단계는 상기 시뮬레이션을 통해 상기 사용자에게 미리 맞춤된 자극 파라미터들의 함수로 이루어진 자극신호를 상기 추가의 자극 노드들을 통해 전달하는 단계;를 포함할 수 있다.

[0022] 상기 기술적 과제를 달성하기 위하여, 본 발명의 다른 실시예는 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 장치에 있어서, 특정 인지 과제를 수행중인 사용자의 fMRI를 획득하는 입력부; 상기 fMRI를 이용하여 상기 특정 인지 과제 수행시의 뇌의 기본 모드 네트워크(default mode network: DMN), 중앙처리 네트워크(central executive network: CEN) 및 현저성 네트워크(salience network: SAN)를 포함하는 길항적 (anti-correlation) 네트워크의 뇌내 위치 (coordination)를 확인하는 뇌내 위치 확인부; 상기 뇌내 위치에 대한 자극 목표를 달성할 수 있도록 하는 두피 상의 자극 노드들의 위치를 시뮬레이션을 통해 결정하는 시뮬레이션부; 상기 시뮬레이션을 통해 상기 사용자에게 미리 맞춤된 자극 파라미터들의 함수로 이루어진 자극신호를 생성하는 자극신호 생성부; 및 상기 자극신호 생성부로부터의 자극신호를 상기 자극 노드들에 인가하는 전극 모듈;을 포함하는 것을 특징으로 하는, 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 장치를 제공한다.

[0023] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 자극신호 생성부가 생성하는 상기 자극 파라미터들은 상기 사용자가 상기 특정 인지 과제를 수행할 때 발생하는 개인별 고유 뇌파(EEG) 주파수, 상기 자극신호의 위상, 자극 강도(intensity) 및 자극 시간(duration)을 포함하며, 상기 자극신호 생성부는 상기 자극 노드들에 인가되는 자극신호는 상기 자극 파라미터들 중 적어도 하나에 차이가 나도록 생성할 수 있다.

[0024] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 뇌내 위치 확인부는, 상기 길항적 (anti-correlation) 네트워크의 뇌내 위치(coordination)를 확인하는 과정에서, 상기 fMRI를 이용하여, 해당 인지 과제 수행시 상기 사용자의 DMN의 뇌 활성화 영역 중 복수의 위치를 제1 위치로 확인하고, 상기 fMRI를 이용하여, 해당 인지 과제 수행시 상기 사용자의 CEN의 뇌 활성화 영역 중 복수의 위치를 제2 위치로 확인하며, 상기 제1 위치는 하나의 상기 DMN에 속하여 동시에 자극되는 내측 전전두엽 피질(medial prefrontal cortex; mPFC)과 후측 대상 피질(posterior cingulate cortex; PCC)을 포함하며, 상기 제2 위치는 하나의 CEN에 속하여 동시에 자극되는 DLPFC(dorsolateral prefrontal cortex)와 PPC(posterior parietal cortex)를 포함할 수 있다.

[0025] 본 발명의 실시예에 있어서, 상기 시뮬레이션부는 상기 두피 상의 자극 노드들의 위치를 시뮬레이션을 통해 결정하는 과정에서, 상기 제1 위치에 자극 목표를 달성할 수 있도록 하는 하나 이상의 제1 자극 노드와, 상기 제2 위치에 자극 목표를 달성할 수 있도록 하는 하나 이상의 제2 자극 노드가 시뮬레이션을 통해 결정하며, 상기 특정 인지 과제는 작업기억(working memory), 억제 제어(inhibitory control) 기능, 판단 지각(perception) 기능 중 하나이고, 상기 자극신호 생성부는 상기 각 인지 과제 수행시 해당 활성화영역 뇌파의 공진을 유도하거나 억제하도록, 상기 하나 이상의 제1 자극 노드와 상기 하나 이상의 제2 자극 노드 간에 자극 파라미터들의 차이가 나도록 조합하여 상기 자극신호를 생성할 수 있다.

발명의 효과

[0027] 본 발명의 실시예에 의하면, 뇌의 길항적 현상을 더 좁히거나 더 벌리는 뇌자극을 가함으로써, 해당 인지 기능이 증진하거나 억제될 수 있다. 즉, DMN의 대표적인 뇌 위치와 CEN의 대표적인 뇌 위치에 위상(phase) 차이를 둔 뇌자극을 가해서, 작업기억(working memory), 억제 제어(inhibitory control) 기능, 판단 지각(perception) 기능에서 각각 인지 기능 증강 효과를 달성하는, 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법 및 그 장치를 제공할 수 있다.

[0028] 또한, 본 발명의 실시예에 의하면, 수행하고 있는 인지 과제와 관련한, 뇌의 길항 (anti-correlation) 작용 관계에 있는 서로 다른 네트워크에 주어지는 대표적으로 뇌자극 신호의 위상(phase), 그 외에 자극 강도(intensity), 자극 시간(duration) 등의 뇌자극 신호의 파라미터의 차이를 이용하여, 해당 인지 기능을 선택적이고, 의도적으로 제어할 수 있는 비침습적 뇌자극 전류 자극 기술로서, 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법 및 그 장치를 제공할 수 있다.

[0029] 본 발명의 효과는 상기한 효과로 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 상세한 설명 또는 특허청구범위에 기재된 발명의 구성으로부터 추론 가능한 모든 효과를 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

도면의 간단한 설명

[0031]

도 1은 뇌의 기본 모드 네트워크와 중앙 처리 네트워크를 나타내는 도면이다.

도 2는 종래의 경두개 전류 자극 기술을 나타내는 도면이다.

도 3은 도 2에서 전류 자극의 위상차를 나타내는 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법을 나타내는 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 장치를 나타내는 도면이다.

도 6은 도 5에서 전극 모듈의 일 예를 나타내는 도면이다.

도 7은 작업 기억 증진을 위한 DMN 및 CEN의 위상차 뇌자극 프로토콜로서 기억 과제 패러다임을 나타내는 도면이다.

도 8은 CFC를 이용한 개인 최적화 주파수 추출을 보여주는 도면이다.

도 9는 도 8에서 추출된 주파수에 따른 자극 파형 생성의 일 예를 보여주는 도면이다.

도 10은 DMN, CEN 간에 위상차 뇌자극 위치를 나타내는 도면이다.

도 11은 도 7 내지 도 10에 제시된 기억 과제에 대한 본 실시예의 뇌자극 방법의 적용시 반응 정답률 통계 결과를 나타내는 도면이다.

도 12는 억제 제어 (inhibitory control) 기능 증진을 위한 두 네트워크의 위상차 뇌자극 프로토콜을 나타내는 도면이다.

도 13은 도 12에 제시된 억제 과제를 두 네트워크 위상차 뇌자극 위치의 일 예를 나타내는 도면이다.

도 14는 도 12 및 도 13에서 설계된 억제 과제 수행의 반응시간 통계 결과를 나타내는 도면이다.

도 15는 지각 (perception) 판단 기능 증진을 위한 두 네트워크의 위상차 뇌자극 프로토콜을 나타내는 도면이다.

도 16은 도 15에 도시된 동기화(Coherence) 조건별 무작위 운동 점(random dot)의 예시이다.

도 17은 도 15 및 도 16에서 설명된 지각 판단 과제를 전두엽 자극 조건에서 두 네트워크 선택적 뇌자극 위치를 나타내는 도면이다.

도 18은 도 15 및 도 16에서 설명된 지각 판단 과제를 후두엽 자극 조건에서 두 네트워크 선택적 뇌자극 위치를 나타내는 도면이다.

도 19 내지 도 24는 도 15 내지 도 18에서 설명된 지각 판단 기능 실험의 정답률과 반응시간 통계결과를 나타내는 도면들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032]

본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 각 도면을 설명하면서 유사한 참조부호를 유사한 구성요소에 대해 사용하였다.

[0033]

다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

- [0034] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시예를 보다 상세하게 설명하고자 한다.
- [0035] 본 실시예의 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법은 각 인지 기능 증강을 위해 작업기억, 억제제어, 판단지각 등의 인지 과제별로, 특별한 뇌자극 프로토콜을 적용한다. 그 결과, 각 인지 기능 증강이라는 실험적 결과를 확인하였다. 즉, 본 실시예의 상기 뇌자극 프로토콜에서는 종래의 방식과 다르게, 뇌의 다중 위치를 자극하고, 수행할 인지 과제를 다양화 하여 결과 일반화의 신뢰성을 현저히 증가시키는 실험결과를 확보하였다.
- [0036] 도4는 본 발명의 일 실시예에 따른 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법을 나타내는 도면이다.
- [0037] 본 발명의 일 실시예에 따른 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법(이하, 뇌 자극 프로토콜로 칭함)에서, 먼저 특정 인지 과제를 수행중인 사용자의 fMRI를 획득한다(S101). 이후, 상기 fMRI를 이용하여 상기 특정 인지 과제 수행시의 뇌의 기본 모드 네트워크(default mode network: DMN), 중앙 처리 네트워크(central executive network: CEN) 및 현저성 네트워크(salience network: SAN)를 포함하는 길항적 (anti-correlation) 네트워크의 뇌내 위치 (coordination)를 확인한다(S102). 다음으로, 상기 뇌내 위치에 대한 자극 목표를 달성할 수 있도록 하는 두피 상의 자극 노드들의 위치를 시뮬레이션을 통해 결정한다(S103). 이후, 상기 시뮬레이션을 통해 상기 사용자에게 미리 맞춤형 자극 파라미터들의 함수로 이루어진 자극신호를 상기 노드들을 통해 전달하여 상기 길항작용을 증진시키거나 억제시킨다(S104).
- [0038] 상기 자극 파라미터들은 상기 사용자가 상기 특정 인지 과제를 수행할 때 발생하는 개인별 고유 뇌파(EEG) 주파수, 상기 자극신호의 위상, 자극 강도(intensity) 및 자극 시간 (duration)을 포함하며, 상기 자극 노드들에 인가되는 자극신호는 상기 자극 파라미터들 중 적어도 하나에 차이가 나도록 인가될 수 있다.
- [0039] 이하, 각 과정을 더 상세히 설명한다.
- [0040] 사용자가 특정 인지 과제를 수행할 때 fMRI를 획득한다(S101). 이 때, 특정 인지 과제를 수행할 때 발생하는 개인별 고유 뇌파(EEG) 주파수를 추가적으로 획득할 수 있다.
- [0041] 이러한 fMRI 를 사용하여 길항적 (anti-correlation) 네트워크의 뇌내 위치 (coordination)를 확인한다(S102). 길항적 (anti-correlation) 네트워크의 뇌내 위치 (coordination)를 확인하는 과정은 fMRI를 이용하여, 해당 인지 과제 수행시 상기 사용자의 DMN의 뇌 활성화 영역 중 복수의 위치를 제1 위치로 확인하는 과정과, 상기 fMRI를 이용하여, 해당 인지 과제 수행시 상기 사용자의 CEN의 뇌 활성화 영역 중 복수의 위치를 제2 위치로 확인하는 과정을 포함할 수 있다.
- [0042] 이와 같이 특정 인지 과제-뇌 네트워크-활성화 영역 간의 연결관계가 확인된 후, 활성화 영역에 대한 뇌자극을 사용자에게 맞춤형 최적화를 하기 위해 시뮬레이션을 통해 두피상의 자극 노드들을 선택할 수 있다.(S103).
- [0043] 이러한 선택된 자극 노드들을 통해 인가될 맞춤형 자극신호를 생성한다(S104). fMRI(뇌영상 정보)를 이용하여, 상기 길항 작용을 더 좁히거나 더 벌리는 뇌자극을 가하도록, 사용자에게 맞춤형 자극신호를 생성할 수 있다. 자극 전류를 전극 모듈을 통해 출력하기 위해, 전술한 바와 같이 DMN 및 CEN에서 각각 맞춤 뇌자극 위치를 선택하는 과정이 수행되고, 이에 대한 최적의 두피상의 자극 위치를 선택하기 위한 시뮬레이션 과정이 진행될 수 있다. 구체적으로 제1 자극 전류 및 제2 자극 전류를 전극 모듈을 통해 출력하기 위해, 상기 자기 공명 영상을 이용하여, 상기 대상자의 상기 DMN에서 해당 인지 기능시 뇌 활성화 영역 중 복수의 위치를 상기 제1 위치로 선택하는 과정과, 상기 자기 공명 영상을 이용하여, 상기 대상자의 상기 CEN에서 해당 인지 기능시 뇌 활성화 영역 중 복수의 위치를 상기 제2 위치로 선택하는 과정이 수행될 수 있다.
- [0044] 예를 들어, 상기 제1 위치는 하나의 상기 DMN 네트워크에 속하여 동시에 자극되는 mPFC와 PCC를 포함하며, 상기 제2 위치는 하나의 CEN 네트워크에 속하여 동시에 자극되는 DLPFC와 PPC를 포함할 수 있다. 즉, 본 실시예의 뇌 자극 프로토콜은 하나의 CEN 네트워크에 속한 DLPFC와 PPC가 동시에 세트로 자극되게 하고, 하나의 DMN 네트워크에 속한 mPFC와 PCC가 동시에 세트로 자극되게 하며, 이 두 네트워크에 위상 차이를 둔다. 여기서, 전술된 관련 뇌 노드(node)의 명칭은, 배외측 전전두엽 피질(dorsolateral prefrontal cortex: DLPFC), 후측 두정 피질(posterior parietal cortex: PPC), 내측 전전두엽 피질(medial prefrontal cortex; mPFC), 후측 대상 피질(posterior cingulate cortex; PCC)이다.
- [0045] 자극신호를 구성하는 자극 파라미터는 DMN 및 CEN이 서로 차이 나게 생성될 수 있다. 즉, 자극 신호에 의해 생성되는 제1 자극 전류 및 제2 자극 전류는 각 인지 기능별 고유 뇌파 주파수, 자극 신호의 위상, 자극 강도

(intensity) 및 자극 시간 (duration)과 같은 파라미터 중 적어도 하나가 차이 나게 인가될 수 있다. 즉, 인지 기능-뇌활성영역(타겟 위치)-고유 인지 주파수의 대응관계를 사용하여 해당 타겟 위치에 자극 위해 시뮬레이션된 자극 노드들에 자극신호를 인가할 수 있다. 이러한 자극 신호는 전극 모듈에 출력되어 제1 자극 전류 및 제2 자극 전류를 사용자의 두피의 자극 노드들에 인가할 수 있다.

- [0046] 이와 같이 본 실시예의 뇌자극 프로토콜은 대상자별로 뇌 활성화 영역을 파악하여 선택된 해당 타겟 위치를 대상자의 고유 인지 주파수로 뇌자극을 하는 개인 맞춤형 뇌자극 방식이다.
- [0047] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 장치를 나타내는 도면이다. 도 6은 도 5에서 전극 모듈의 일 예를 나타내는 도면이다.
- [0048] 본 실시예의 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 장치 및 그 방법은 경두개 전류 자극(transcranial Current Stimulation, tCS) 방식이 적용될 수 있고, 특히 경두개 교류 자극(transcranial Alternating Current Stimulation, tACS) 방식일 수 있다. 다만, 이에 한정되지는 않는다.
- [0049] 도 5 및 도 6을 참조하면, 본 실시예에 따른 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 장치는 저장부(미도시), 입력부(10), 뇌내 위치 확인부(20), 시뮬레이션부(30), 자극신호 생성부(40), 신호출력부(50) 및 전극 모듈(60)을 포함할 수 있다.
- [0050] 저장부(미도시)는 입력 받은 뇌영상 정보(fMRI), 위상차, 자극 강도, 자극 지속시간 등의 자극 파라미터, 제1 위치 및 제2 위치를 포함하는 타겟 지점, 자극 전류 파형 등 본 실시예의 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 장치에서 다루지는 모든 정보들을 저장할 수 있다.
- [0051] 입력부(10)는 대상자의 뇌영상 정보를 입력 받아 저장부에 저장하고 뇌내 위치 확인부(20)로 전달할 수 있다. 여기서 뇌영상은 MRI 장치로부터 바로 수신 받거나, MRI 장치와 연결되어 있는 또는 뇌영상이 저장되어 있는 단말기로부터 수신 받을 수 있으며, 이에 한정되지는 않는다. 뇌영상 정보는 전술한 바와 같이, 기능적 자기 공명 영상(fMRI)에 의한 뇌영상과 대상자가 해당 인지 기능을 할 때에 발생하는 개인별 고유 뇌파(EEG) 주파수를 포함할 수 있다.
- [0052] 뇌내 위치 확인부(20)는 사람마다 뇌의 형태가 다르기 때문에 개인별 뇌 영상(MR 영상)을 기반으로 자극을 가하기 위한 최적의 타겟 지점을 도출할 수 있다.
- [0053] 시뮬레이션부(30)는 입력된 대상자의 뇌 영상 정보를 기반으로 뇌내 위치 확인부(20)가 선택한 해부학적 타겟 지점을 파악하고 두피 상의 자극 노드를 조합하여 최적의 자극 노드들의 위치를 시뮬레이션을 통해 결정할 수 있다. 시뮬레이션부는 해당 인지 기능-뇌 활성화영역-고유 뇌파 주파수의 관계를 연산 내지 매칭시키고, 최적의 자극을 위한 노드들의 위치를 결정할 수 있다. 예를 들어, 해당 인지 기능시에 하나의 상기 DMN에 속하여 동시에 자극되는 제1 위치(타겟 지점)로서 mPFC와 PCC 영역과 이때의 고유 뇌파 주파수를 매칭하고, 해당 인지 기능시에 하나의 CEN에 속하여 동시에 자극되는 제2 위치(타겟 지점)로서 DLPFC와 PPC영역과 이때의 고유 뇌파 주파수를 매칭하여 대상자에 맞춤형 뇌자극 프로토콜을 설정할 수 있다.
- [0054] 자극신호 생성부(40)는 제1 위치의 자극을 위해 제1 노드들에 인가될 제1 자극 전류와 제2 위치의 자극을 위해 제2 노드들에 인가될 제2 자극 전류를 인가하기 위한 자극 신호를 생성할 수 있다. 자극 신호에 의해 제1 자극 전류와 제2 자극 전류는 서로 자극 파라미터에 있어서 차이가 있게 된다. 자극 파라미터로서 대표적으로는 고유 뇌파 주파수, 위상이 있고, 필요한 경우 전술된 두 네트워크 간에 자극에 있어서 다른 파라미터들(예: 전술한 자극 강도 및 지속 시간)이 있을 수 있다.
- [0055] 본 실시예의 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 장치는 이러한 뇌 네트워크 간 자극 파라미터의 차이를 둔 자극을 통해 하나의 DMN 네트워크에 속한 mPFC와 PCC가 동시에 세트로 자극되게 하고, 하나의 CEN 네트워크에 속한 DLPFC와 PPC가 동시에 세트로 자극되게 할 수 있다. 한편, 더 나아가 DMN의 제1 노드들에 인가되는 제1 자극 전류들 간에도 자극 파라미터에 차이를 둘 수도 있다. 또한 CEN의 제2 노드들에 인가되는 제2 자극 전류들 간에도 자극 파라미터에 차이를 둘 수도 있다.
- [0056] 신호 출력부(50)는 자극 신호 생성부(40)에 의해 생성된 제1 자극 전류 및 제2 자극 전류를 위한 자극 신호를 전극 모듈(60)에 출력할 수 있다. 자극 신호 출력부(50)는 전극 모듈(60) 상의 복수의 지점(제1 노드들)과 전극 모듈 상의 복수의 지점(제2 노드들)을 선택하고, 제1 자극 전류 및 제2 자극 전류를 위한 자극 신호를 정해진 프로토콜에 따라 인가할 수 있다.
- [0057] 전극 모듈(60)은 도 6에 도시된 바와 같이, 캡(CAP) 형상으로 머리에 착용이 가능하도록 형성되어 있고, 상기

노드들로서 다수의 자극 전극(31)들이 배열되어 있다. 전극 모듈(60)은 신호 출력부(50)로부터의 자극 신호에 따라 자극 전극들에 의해 대상자의 두피의 노드들에 전류 자극을 가할 수 있다. 즉, 자극 신호에 의해 다수의 자극 전극 중 선택된 자극 전극(노드)들에 제1 자극 전류 및 제2 자극 전류가 인가될 수 있다.

[0058] 이와 같은 본 실시예에 따르면, 비침습적으로 뇌에 자극을 주되, 뇌가 인지 과제 수행에 일반적으로 사용하는 서로 길항 작용을 하는 복수의 뇌 기능 네트워크에 위상 차이를 둔 뇌자극을 함으로써 해당 인지 기능을 제어할 수 있다. 이를 통해서, 인간의 인지 기능을 선택적이고 의도적으로 증강 혹은 감소시키는 효과를 얻을 수 있다. 이러한 본 발명의 실시예를 기억, 판단, 억제 등의 다양한 인지 기능 제어에 적용하게 되면, 교육 및 사회 생산성 증대는 물론, 다가오는 정신 문명 시대에 윤택한 정신 활동과 인지 기능의 의도적 증강에 활용하는 등의 큰 파급 효과가 있을 것이다. 환자의 입장에서 본인의 MR 영상에서 뇌 생리학적으로 최적화된 위치에 치료 자극이 가해짐으로써 효과적인 결과를 얻을 수 있다. 또한, 비침습적이지만 뇌의 기능 네트워크의 활성화를 신경생리학적 기반의 뇌자극 기술로, 공간 해상도 높은 치료로 최적의 치료 효과와 진료비용을 최소화할 수 있다는 점에서 의학적, 경제적 효과를 예상할 수 있다.

[0059] 이하, 이러한 본 실시예의 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법 및 그 장치를 더 구체적으로 설명하며, 전술된 각 인지 과제에 어떻게 적용되고 인지 기능 향상 내지 강화의 결과를 도출하였는지 설명한다.

[0060] 도 7은 작업 기억 증진을 위한 DMN 및 CEN의 위상차 뇌자극 프로토콜로서 기억 과제 패러다임을 나타내는 도면이다. 도 8은 CFC를 이용한 개인 최적화 주파수 추출을 보여주는 도면이다. 도 9는 도 8에서 추출된 주파수에 따른 자극 전류의 자극 파형 생성의 일 예를 보여주는 도면이다.

[0061] 도 7을 참조하면, 위와 같은 작업기억 능력을 측정할 수 있는 Sternberg 과제에서, 제시된 글자와 숫자 조합 정보를 머리 속에 저장하는 기간 (retention time: 파지 기간) 동안에, 전술된 제1 자극 전류 및 제2 자극 전류로서 실시시간으로 도 8 및 도 9에 제시된 비침습적 뇌자극을 주어, 작업 기억 능력이 향상된 결과를 얻었다.

[0062] 구체적으로 파지기간 9초 중에 중간 시간 6초 동안 뇌자극을 주었다. 특별히, 작업 기억의 신경생리학적 모델링에서 저주파와 고주파의 동조 형태로 진행된다는 지식에 근거하여, 작업 기억 증진과 관련한 뇌자극 신호는 개인별 고유주파수, 예를 들어, 저주파(lower frequency) F1은 세타파(4~8Hz)와 알파파(8~13Hz) 주파수 대역이고, 고주파(higher frequency) F2는 감마파(30Hz 이상) 주파수 대역을 도 8 처럼 고려해서, 합성곱인 F1*F2 교차 주파수 동조(cross-frequency coupling: CFC) 모양의 도 9에 제시된 바와 같은 뇌자극 신호를 사용하였다.

[0063] 도 10은 DMN, CEN 간에 위상차 뇌자극 위치를 나타내는 도면이다. 도 11은 도 7 내지 도 10에 제시된 기억 과제에 대한 본 실시예의 뇌자극 방법의 적용시 반응 정답률 통계 결과를 나타내는 도면이다.

[0064] 도 10에 도시된 바와 같이, 본 작업 기억 기능과 관련한 CEN(활성화 네트워크)의 대표적인 뇌 위치(node)로 DLPFC와 PPC를 잡고, DMN(휴지기 네트워크)의 대표적인 뇌 위치로 mPFC와 PCC를 잡아서, 활성화 네트워크와 휴지기 네트워크의 뇌자극 신호(제1 자극 전류, 제2 자극 전류)의 위상 차이가 특정 위상일 때에 (본 실시예에서는 휴지기 네트워크 뇌자극 신호가 활성화 네트워크 뇌자극 신호보다 45도 앞설 때), 도 11에 도시된 바와 같이, 작업 기억 증진의 효과(즉, 통계적으로 높은 정답률: performance accuracy)를 보이는 것을 확인할 수 있었다.

[0065] 본 실시예는 비침습적 뇌자극으로 뇌파를 효과적으로 공명(resonating) 시킬 수 있는, 경두개 교류 전류 자극(tACS: transcranial alternating current stimulation)을 사용하는데, 이에 한정되지 않고 집속 초음파(focused ultrasound sonication)등의 다른 비침습적 뇌자극 방법도 사용 가능하다. 여기서, 각 인지 과제별로 해당 피험자(대상자)에서 우세하게 보이는 개인별 고유 주파수(즉, 전술된 개인별 고유 뇌파(EEG) 주파수)를 파악한 뒤에, 해당 주파수로 뇌 자극 주파수를 제작하고, 예를 들어, 전술된 자극 신호 생성부로 상기 뇌 자극 주파수의 자극 신호를 생성하고, 이를 가지고 해당 뇌 영역 뇌파의 공진을 유도할 수 있다. 자극이 뇌의 해당 타겟 위치에 정확하게 전달되도록 하기 위해서, 해당 피험자의 개인별 뇌영상(MRI)과 해당 인지 과제인 작업 기억 과제를 수행할 때의 기능적 자기공명 영상(fMRI)를 측정하여, 위의 활성화 및 휴지기 네트워크 노드들의 해부학적인 공간 해상도와 정밀도가 높은 좌표값을 확보하여 정교화할 수 있다. 이렇게 확보된 뇌 해부학적 위치에 대해, 두피의 어떤 자극 전극의 조합이 최적의 뇌자극을 가능하게 하는지에 대한 시뮬레이션을 돌려서, 해당 피험자에 최적화된 비침습적 경두개 교류 자극 파라미터 조합을 계산하여 구할 수 있다. 이러한 과정은 후술되는 다른 인지 과제 기능 증진을 위한 본 실시예의 뇌자극 방법에도 그대로 적용할 수 있다.

- [0066] 이렇게 구현된 자극 파라미터 조합으로 해당 피험자의 작업 기억 동작 중에 상기 제1 자극 전류 및 상기 제2 자극 전류에 의해 뇌에 자극을 주어, 작업 기억 능력 향상 효과를 얻는다. 작업 기억은 크게, 기억 정보를 습득하는 저장(encoding) 단계, 기억 정보를 잠시 동안 보유하고 있는 파지(retention) 단계, 그리고, 저장된 기억 정보를 인출하는 인출(retrieval) 단계의 3 단계로 구분될 수 있다. 본 실시예의 뇌자극 방법은 이러한 3단계 각각이나, 단계들의 조합에 적용될 수 있고, 각 단계별 활성화 네트워크와 휴지기 네트워크의 대표적 뇌 위치 노드들은 해당 단계에 최적화되어 바뀔 수 있다.
- [0067] 도 12는 억제 제어(inhibitory control) 기능 증진을 위한 두 네트워크의 위상차 뇌자극 프로토콜을 나타내는 도면이다.
- [0068] 도 12에 도시된 바와 같은 억제 제어 능력을 측정할 수 있는 Stroop 과제에서, 예를 들어, 빨간색으로 적혀 있는 "초록"이라는 글자의 색을 묻는 시도에서 글자의 뜻과 글자의 색이 서로 상충하는 경우에, 해당 인지 기능을 선택적으로 억제해야만 좋은 과제 수행을 한 것이 된다. 따라서 이런 억제 제어 기능으로 인해서 반응시간이 늦어지는 현상을 Stroop 효과라고 한다. 본 실시예의 뇌자극 방법을 통해서 이와 같은 상대적인 인지처리 과정의 억제 제어 기능 증진이 일어나는 것을 후술되는 바와 같이 실험적으로 확인하였다.
- [0069] 도 13은 도 12에 제시된 억제 과제의 두 네트워크 위상차 뇌자극 위치의 일 예를 나타내는 도면이다. 도 14는 도 12 및 도 13에서 설계된 억제 과제 수행의 반응시간 통계 결과를 나타내는 도면이다.
- [0070] 도 12 및 도 14를 참조하면, 본 발명의 뇌자극 방법을 적용한 억제 과제 실험에서는 dACC(dorsal anterior cingulate cortex)와 L-DLPFC(left dorsolateral prefrontal cortex)를 뇌자극의 타겟이 되는 위치(제1 위치, 제2 위치)로 잡는다. 전술된 작업 기억 실험과 마찬가지로, 피험자 개인별 뇌구조 영상(MRI)과 본 억제(Stroop) 과제를 수행할 때의 기능적 자기 공명 영상(fMRI)을 찍어서, 해당 위치의 정확한 해부학적 좌표를 파악한다. 이후, 마찬가지로 방법으로 해당 위치의 최적의 뇌자극을 위한 두피 상의 자극 전극 조합을 시뮬레이션을 통해서 구한 뒤에, 실제 억제 제어 기능 증진을 위한 뇌자극 패러다임에 피험자 개인별 특화된 자극 파라미터를 사용하였다.
- [0071] 도 12 내지 도 14를 참조하면, 위의 두 개의 노드인 배측 전측 대상 피질(dorsal anterior cingulate cortex: dACC)과 좌측 배외측 전전두엽 피질(left dorsolateral prefrontal cortex: L-DLPFC)에 뇌자극 신호를 한번은 0도의 위상차, 다른 한번은 180도의 위상차가 나도록 뇌자극을 준다. 이번에는 뇌자극을 특정 시간 동안 지속해서(예를 들어, 본 실험의 경우는 9분) 주고 나서, 뇌자극 이후에 동일한 억제 과제를 수행할 때의 억제 제어 기능 증진 효과를 살펴보았다. 도 14를 참조하면, 결과적으로 해당 하는 2개의 노드에 180도 위상차 차이가 있는 뇌자극 신호를 주었을 때에, 0도 위상차 신호보다 반응시간이 통계적으로 더 빨라지는 인지 증강 효과를 검출할 수 있었다.
- [0072] 도 15는 지각(perception) 판단 기능 증진을 위한 두 네트워크의 위상차 뇌자극 프로토콜을 나타내는 도면이다. 도 16은 도 15에 도시된 동기화(Coherence) 조건별 무작위 운동 점(random dot)의 예시이다.
- [0073] 본 발명의 뇌자극 방법을 적용한 지각(perception) 판단 기능 증진과 관련해서 도 15 및 도 16에서 보이는 지각 판단용 인지 과제로 알려진 "무작위 운동 점 그림(Random dot kinematogram)" 과제를 사용하였다. 다수의 개별적으로 움직이는 점(moving dots)의 부분적 방향 동기화(partial coherence)에 의한, 전체 움직임의 방향을 판단하는 과제를 사용해서, 후술되는 바와 같이 본 실시예의 뇌자극을 통해서 이와 같은 판단 처리 과정의 반응 시간 단축이나 정확도 증진에 관한 실험을 진행하였다.
- [0074] 도 17은 도 15 및 도 16에서 설명된 지각 판단 과제를 전두엽 자극 조건(실험조건1)에서 두 네트워크 선택적 뇌자극 위치를 나타내는 도면이다. 도 18은 도 15 및 도 16에서 설명된 지각 판단 과제를 후두엽 자극 조건(실험조건 2)에서 두 네트워크 선택적 뇌자극 위치를 나타내는 도면이다.
- [0075] 도 17은 지각 판단 기능 증진과 관련해서는 우측 전측 뇌섬(Right Anterior Insular: rAI)과 배측 전측 대상 피질(dorsal Anterior Cingulate Cortex: dACC)에 자극이 가해지는 시뮬레이션(실험조건 1)을 나타낸다. 도 18은 전측 상위 두정엽(anterior superior parietal lobule: aSPL)과 후두엽(occipital)에 자극이 가해지는 시뮬레이션(실험조건 2)을 나타낸다. 전술된 작업 기억 실험과 마찬가지로, 피험자 개인별 뇌구조 영상(MRI)과 본 지각 판단 과제를 수행할 때의 기능적 자기 공명 영상(fMRI)을 찍어서, 해당 위치의 정확한 해부학적 좌표(즉, 제1 위치 및 제2 위치)를 파악한다. 이후, 마찬가지로 방법으로 해당 위치의 최적의 뇌자극을 위한 두피 상의 자극 전극 조합을 시뮬레이션을 통해서 구한다. 다음으로, 실제 지각(perception) 판단 기능 증진을 위한 뇌자극 패러다임에 피험자 개인별 특화된 자극 파라미터를 사용한다.

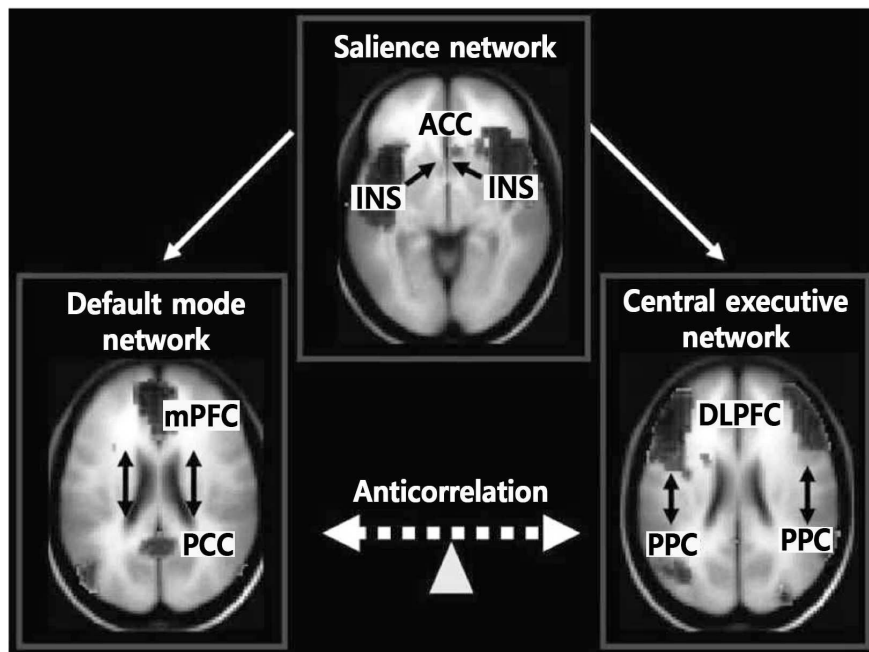
- [0076] 도 19 내지 도 24는 도 15 내지 도 18에서 설명된 지각 판단 기능 실험의 정답률과 반응시간 통계결과를 나타내는 도면들이다. 도 19 및 도 20은 난이도 상(25% coherence), 도 21 및 도 22는 난이도 중(50% coherence), 도 23 및 도 24는 난이도 하(75% coherence)의 실험 결과를 각각 나타낸다.
- [0077] 도 17 및 도 24를 참조하면, 도 15 및 도 16에서 전술된 Random dot kinematogram 판단 과제 수행 중, 전두엽 및 후두엽 자극시 자극 전보다 모든 난이도에서 반응 속도가 유의미하게 감소하였다. 또한, 도 21 및 도 22를 참조하면, 중간 난이도(50% coherence)에서 도 18의 실험조건 2의 후두엽 자극시, 도 17의 실험조건1의 전두엽 자극보다 반응속도가 유의하게 감소하였다. 도 19 및 도 20을 참조하면, 정답률의 경우 어려운 난이도(25% coherence)에서 도 18의 후두엽 자극할 때에, 도 17의 전두엽 자극보다 유의하게 높았다. 뇌자극으로 판단 과제의 반응속도 및 정답률이 모두 향상되었으며, 자극 위치에 따라서도 반응속도와 정답률 향상에 차이를 보였다.
- [0078] 전술된 실시예의 경우, DMN(기본 모드/휴지기 네트워크), CEN(중앙 처리/활성화 네트워크)만 사용하고 있는데, 본 발명의 뇌자극 방법은 현저성 네트워크(salience network: SAN)도 포함할 수 있다.
- [0079] 예를 들어, 뇌내 위치 (coordination)를 확인하는 단계는 현저성 네트워크(salience network: SAN)의 활성화영역으로서 하나의 SAN에 속하여 동시에 자극되는 뇌섬(Insular)과 전측 대상 피질(Anterior Cingulate Cortex: dACC)을 포함하는 제3 위치를 확인하는 단계를 포함할 수 있다. 시뮬레이션 단계는 제3 위치를 자극하기 위한 추가의 자극 노드들을 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 또한, 길항작용을 증진시키거나 억제시키는 단계는 시뮬레이션을 통해 사용자에게 미리 맞춤형 자극 파라미터들의 함수로 이루어진 자극신호를 추가의 자극 노드들을 통해 전달하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0080] 또한 본 발명의 뇌자극 방법은 자극 파라미터 차이로서 전술된 자극 주파수 (frequency), 자극 강도(intensity) 차이, 자극 시간(duration) 차이, 자극 신호 파형 (wave form) 이외에 충격 계수(duty factor) 등의 파라미터 및 이들의 적절한 조합(combination)을 포함할 수 있다.
- [0081] 또한, 본 발명의 뇌자극 방법은 자극용 전극의 개수와 위치, 리턴 전극의 위치 등을 다양하게 하여 복합적인 효과를 기대할 수 있다.
- [0082] 본 실시예의 뇌의 길항 작용 네트워크의 위상차 비침습 뇌자극을 이용한 인지 기능 증강 방법은 각 인지 기능 증강을 위해 작업기억, 억제제어, 판단지각 등의 인지 과제별로, 특별한 뇌자극 프로토콜을 적용한다. 그 결과, 각 인지 기능 증강이라는 실험적 결과를 확인하였다. 즉, 본 실시예의 상기 뇌자극 프로토콜에서는 종래의 방식과 다르게, 뇌의 다중 위치를 자극하고, 수행할 인지 과제를 다양화 하여 결과 일반화의 신뢰성을 현저히 증가시키는 실험결과를 확보하였다.
- [0083] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.
- [0084] 본 발명의 범위는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

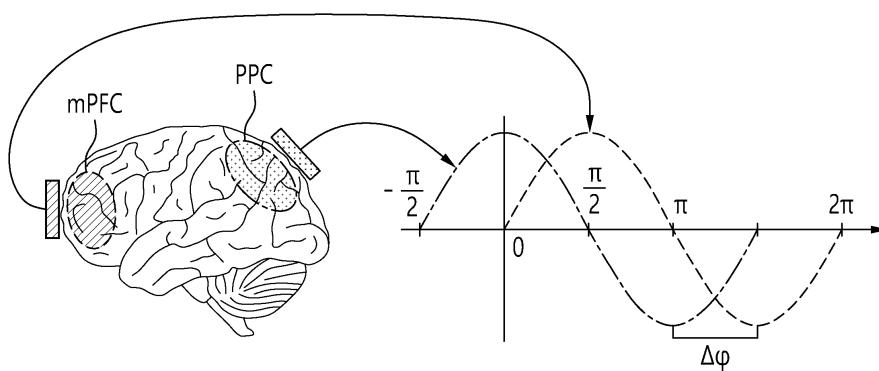
- [0086] 10 : 입력부
20 : 뇌내 위치 확인부
30 : 시뮬레이션부
40 : 자극신호 생성부
50 : 신호 출력부
60 : 전극 모듈

도면

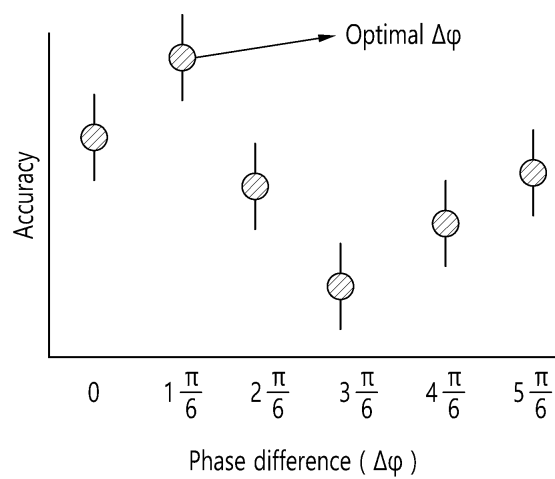
도면1



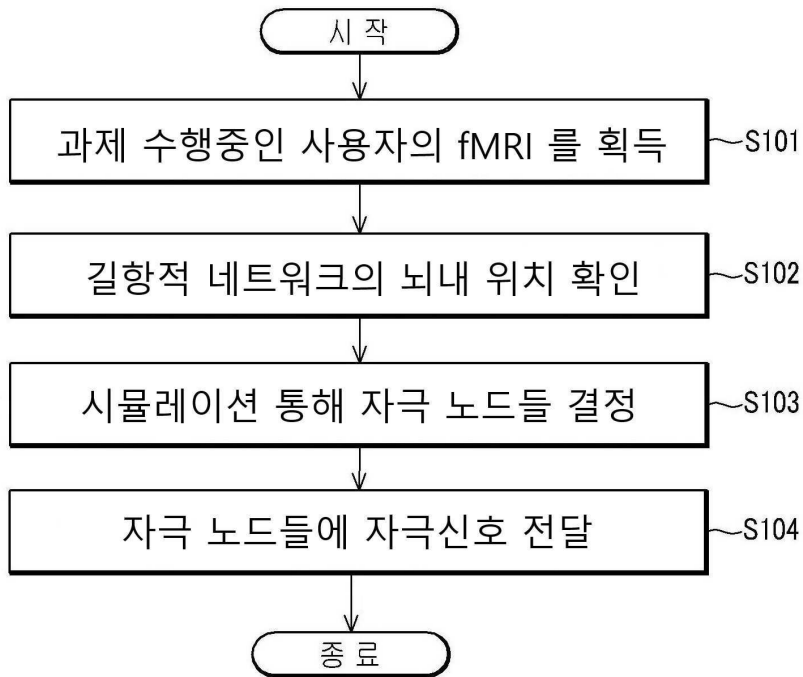
도면2



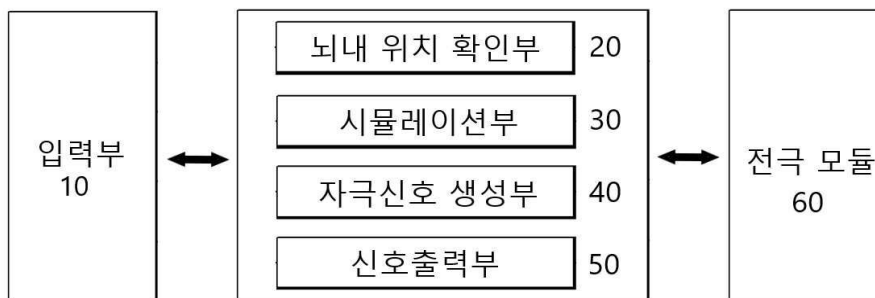
도면3



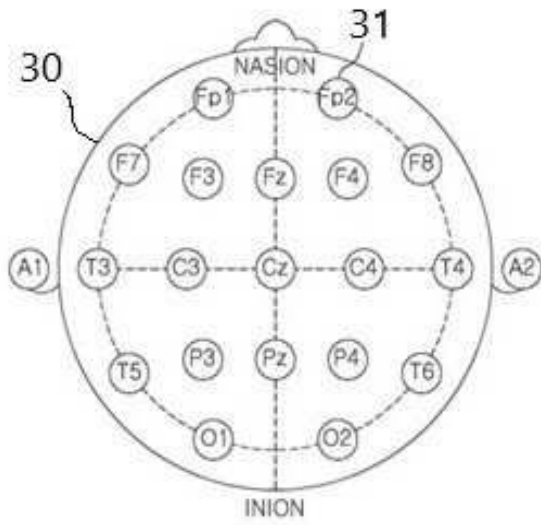
도면4



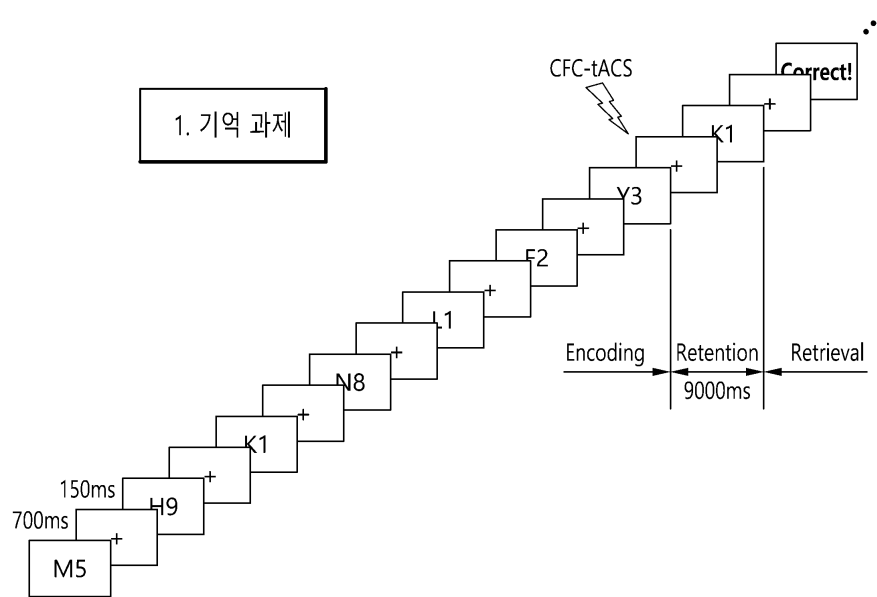
도면5



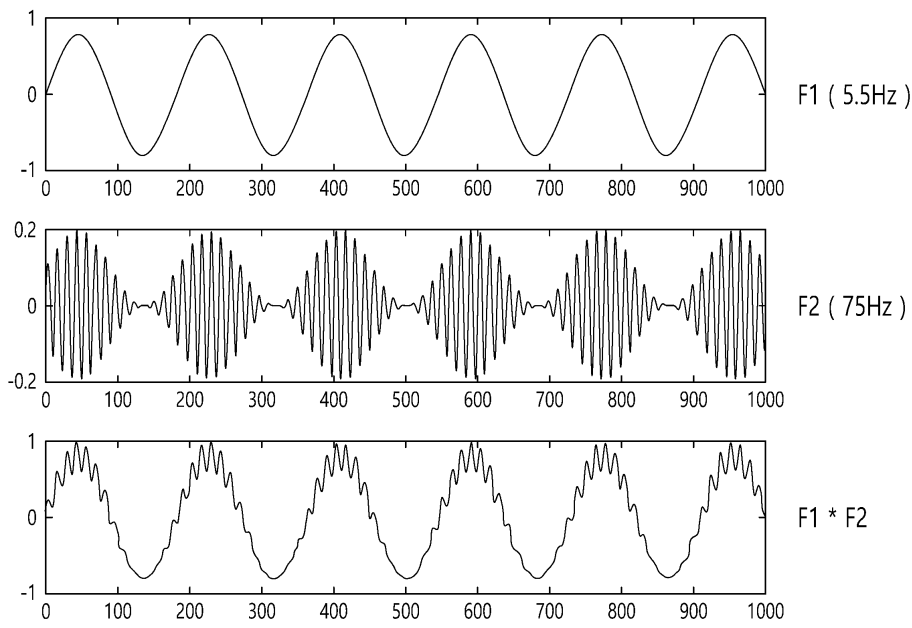
도면6



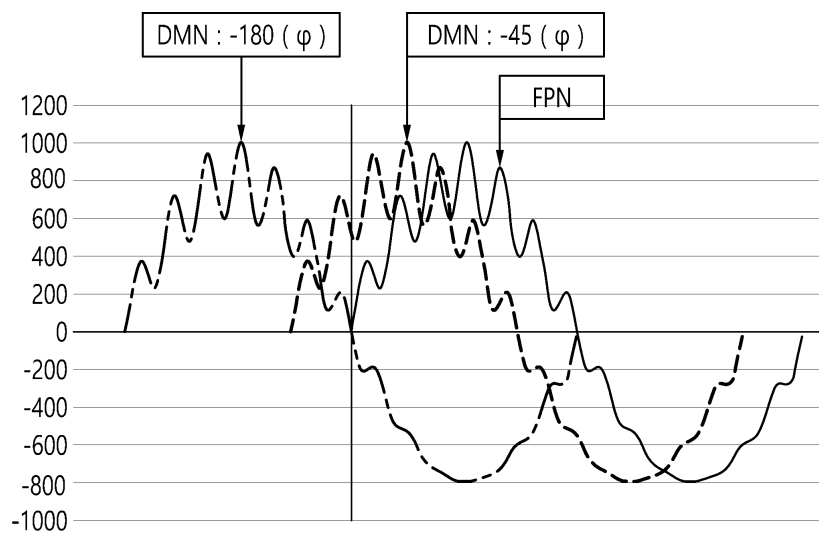
도면7



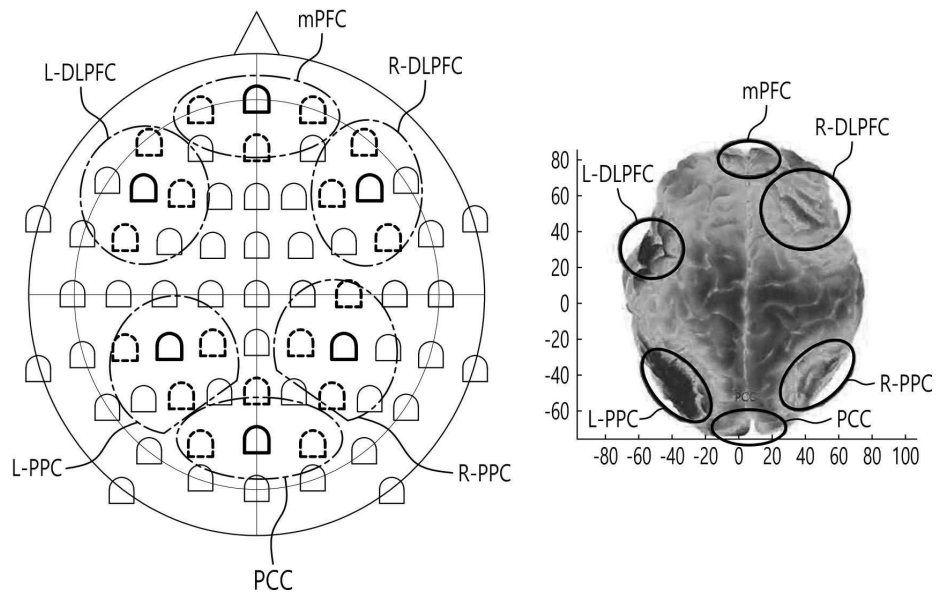
도면8



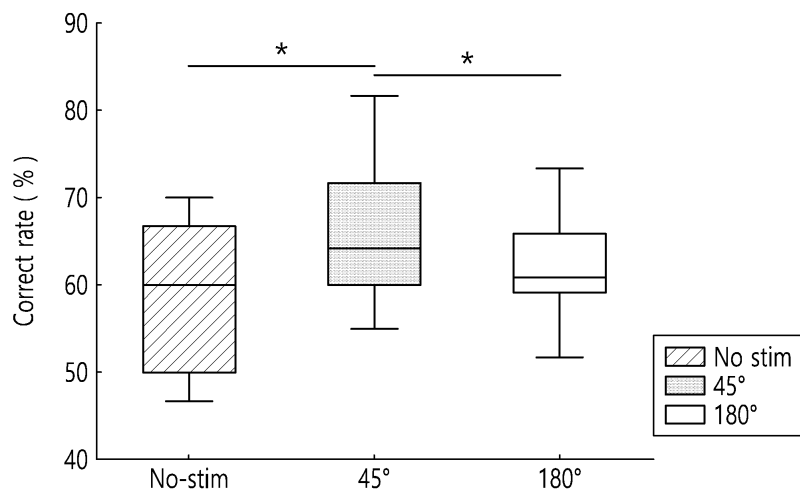
도면9



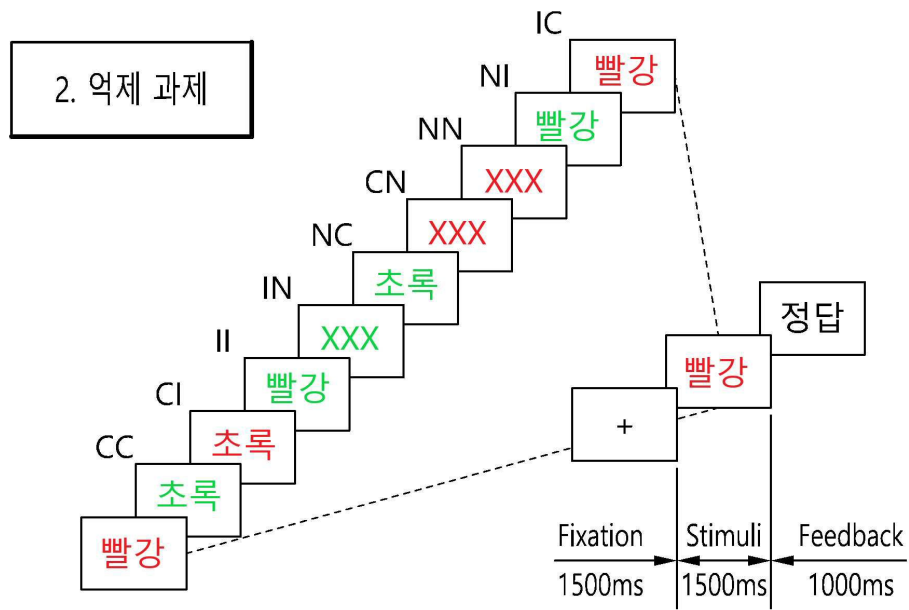
도면10



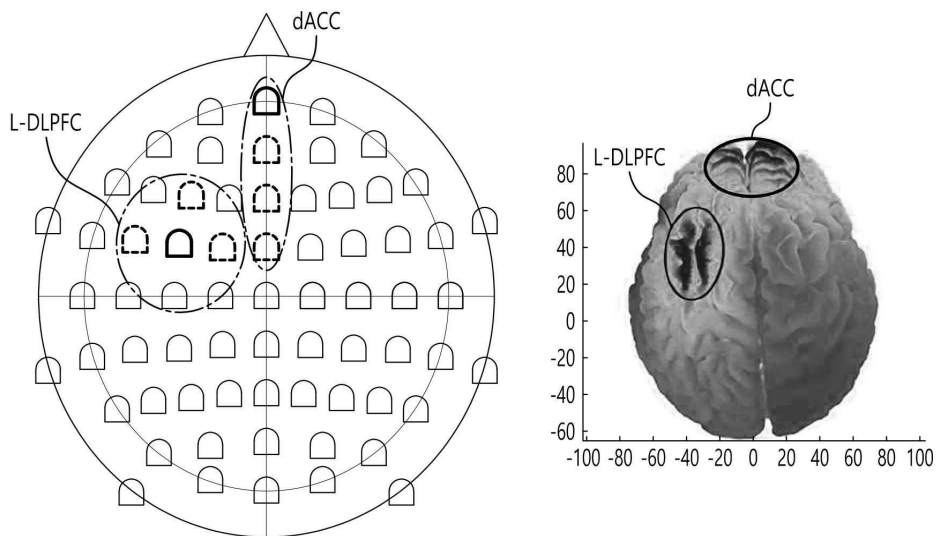
도면11



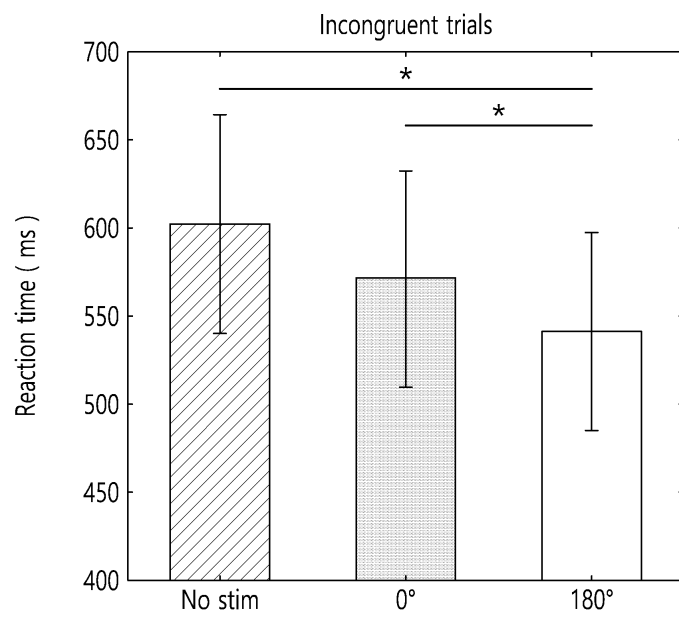
도면12



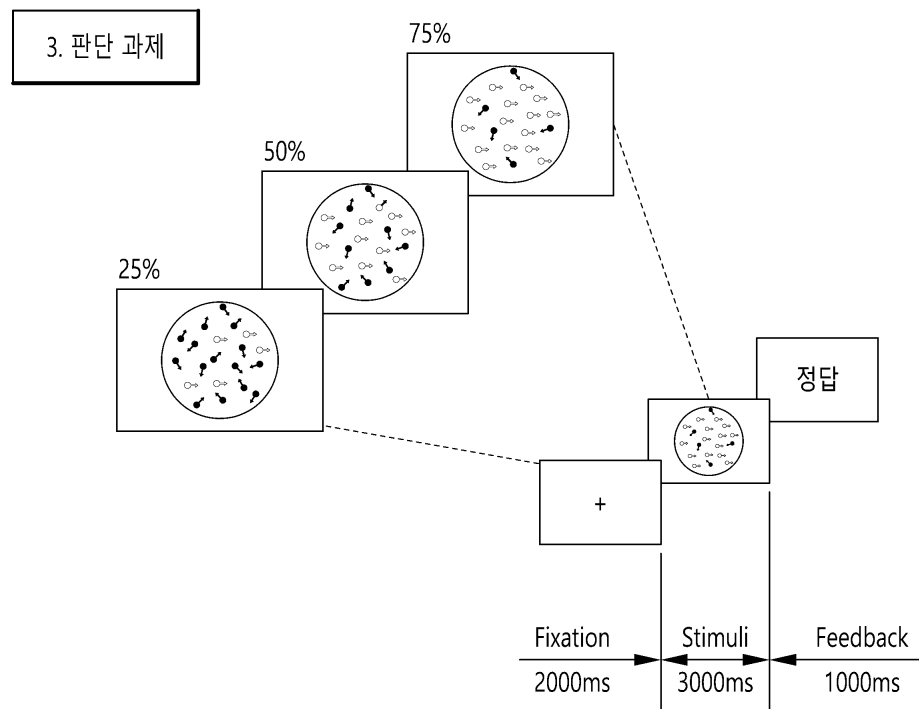
도면13



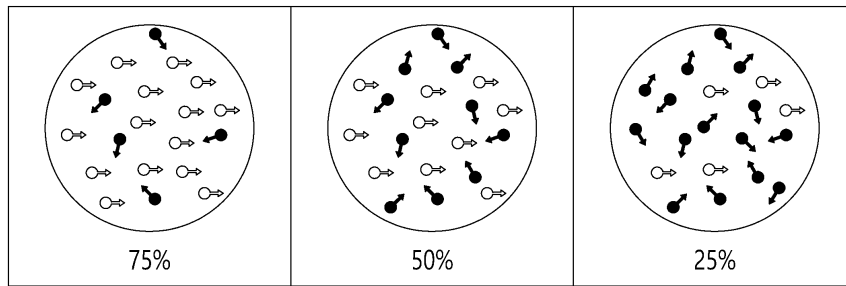
도면14



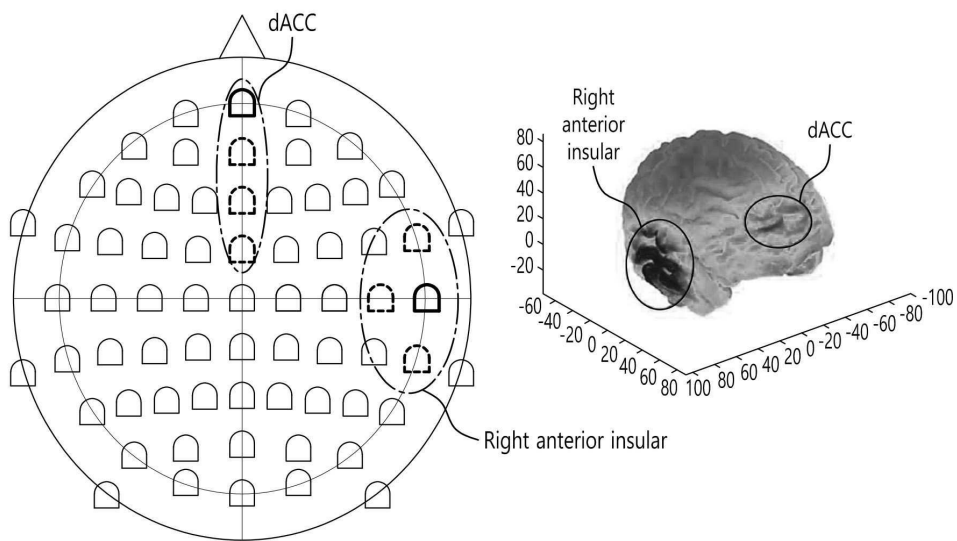
도면15



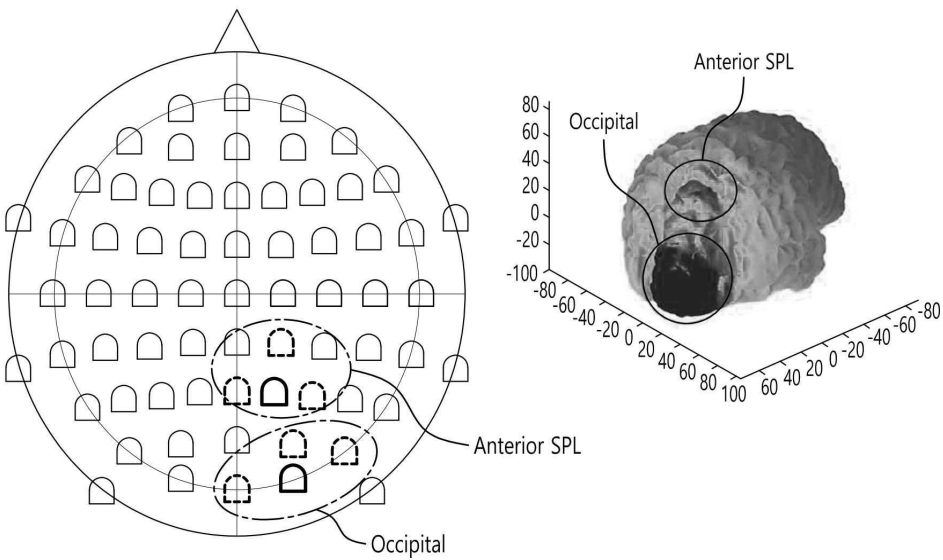
도면16



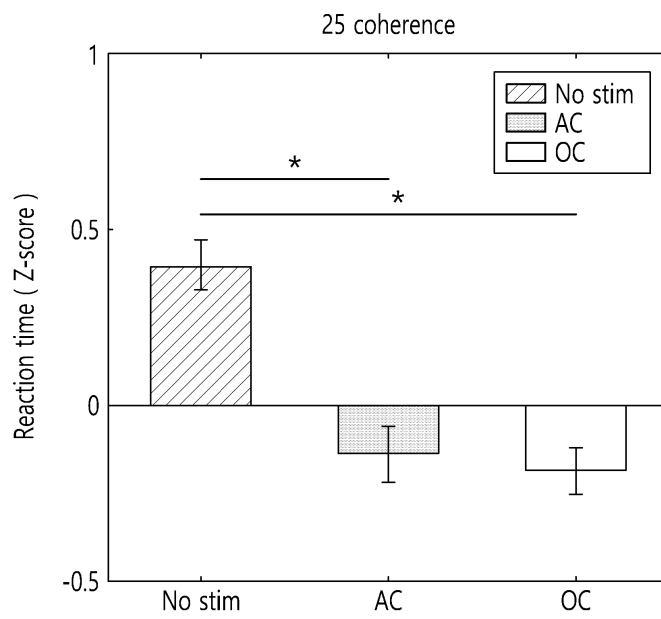
도면17



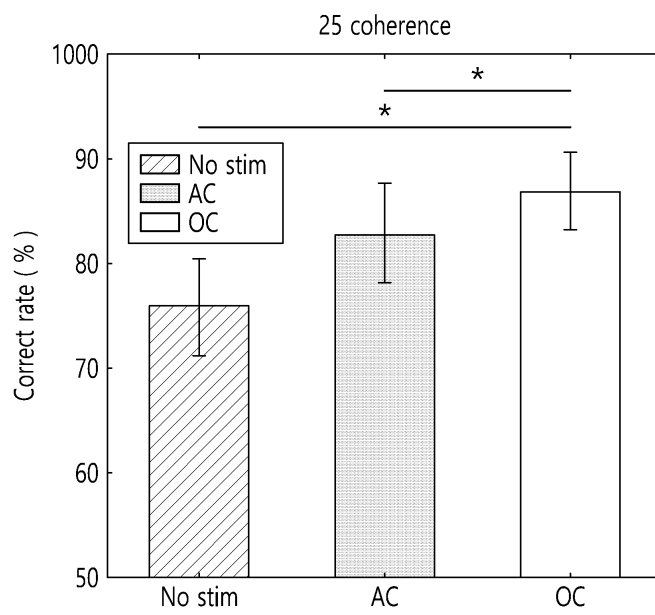
도면18



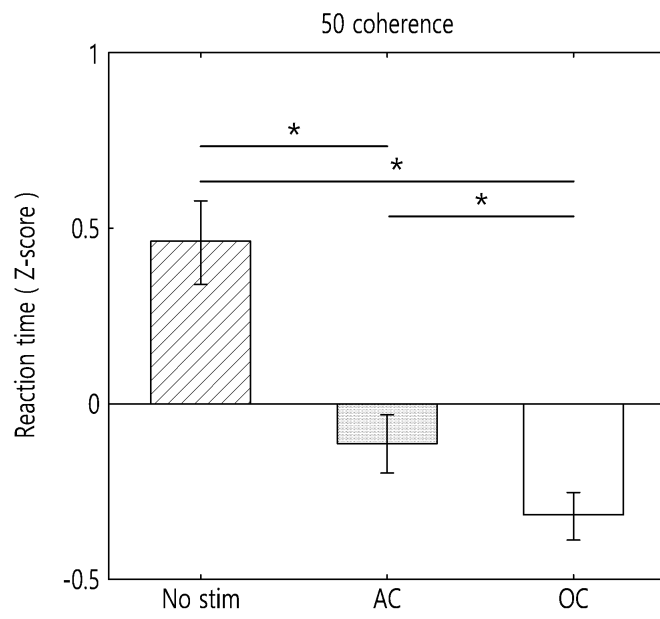
도면19



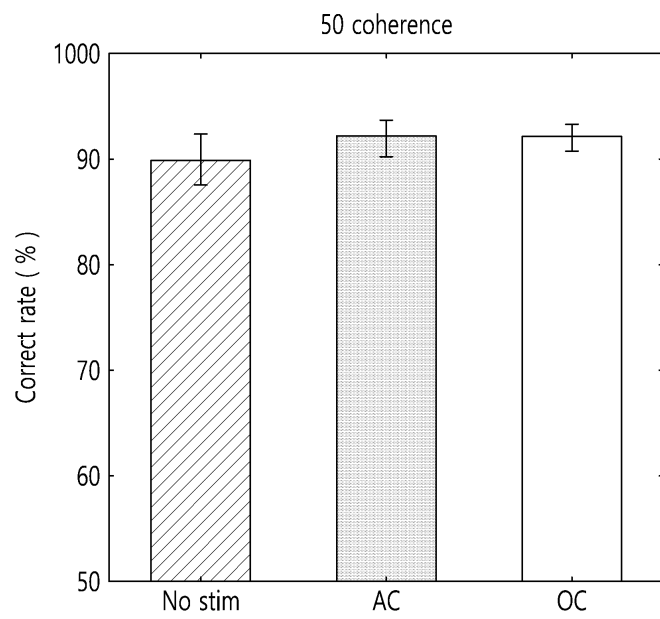
도면20



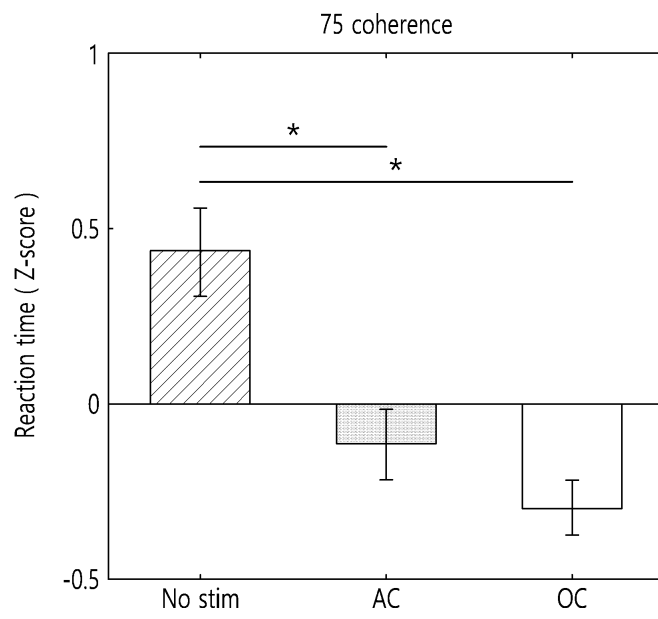
도면21



도면22



도면23



도면24

