

Cognitive Neuroscience of Memory

BCSC

July 27, 2025

일러두기

하나. 본 문서는 Cognitive Neuroscience of Memory의 정리본임.

윤시원

BCSC 2025

July 27, 2025

CONTENTS

1	Types of Memory and Brain Regions of Interest	5
1.1	Cognitive Neuroscience	5
1.1.1	인지 심리학Cognitive psychology	5
1.1.2	행동 신경과학Behavioral neuroscience	5
1.1.3	인지 신경과학Cognitive neuroscience	6
1.2	Memory Types	6
1.2.1	explicit memory & implicit memory	6
1.2.2	episodic memory & semantic memory	8
1.2.3	context memory & item memory	9
1.2.4	remembering & knowing	9
1.2.5	recollection & familiarity	9
1.2.6	Tulving의 논문	9
1.3	Brain Anatomy	10
1.3.1	Brodmann area(BA)	12
1.4	The Hippocampus and Long-Term Memory	13
1.5	Sensory Regions	14
1.6	Control Regions	15
1.6.1	fMRI를 통한 기억 통제 영역 찾기 실험	16
1.6.2	fMRI를 통한 item memory, source memory 영역 찾기 실험	16
3	Brain Regions Associated with Long-Term Memory	18
3.1	Episodic Memory	19
3.1.1	the hippocampus and the parahippocampal cortex	20
3.1.2	dorsolateral prefrontal cortex & parietal cortex	21
3.2	Semantic Memory	22
3.3	Memory Consolidation	23
3.4	Consolidation and Sleep	25
3.4.1	slow wave sleep	25
3.4.2	파들	25

3.5	Memory Encoding	26
3.5.1	subsequent memory analysis	26
3.6	Sex Differences	26
3.7	Superior Memory	27
3.8	Review Questions	29
4	Brain Timing Associated with Long-Term Memory	30
4.1	Timing of Activity	30
4.2	The FN400 Debate	31
4.2.1	cross-frequency coupling	31
6	Working Memory	34
6.1	The Contents of Working Memory	34
6.1.1	dorsolateral prefrontal cortex	36
6.2	Working Memory and the Hippocampus	41
6.3	Working Memory and Brain Frequencies	45
6.4	Brain Plasticity and Working Memory Training	46
	Index	48

TYPES OF MEMORY AND BRAIN REGIONS OF INTEREST

1.1 Cognitive Neuroscience

1.1.1 인지 심리학Cognitive psychology

사람의 정신 과정(e.g., 인식, 집중, 언어, 기억, 결정 만들기 등)을 연구하는 분야

1.1.2 행동 신경과학Behavioral neuroscience

동물로 부터 뇌의 메카니즘을 찾는 학문

Method: 침습적 방법을 사용하여 동물 뇌의 메카니즘을 찾음 ⇒ 궁극적 목표! 동물 뇌에 기반하여
사람 뇌의 메카니즘 탐구

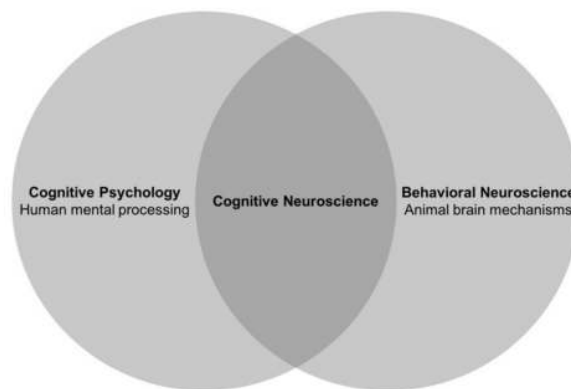


Figure 1.1: The relationships between the fields of cognitive psychology, cognitive neuroscience, and behavioral neuroscience.

1.1.3 인지 신경과학^{Cognitive neuroscience}

인지 심리학과 행동 신경과학을 망라하는 분야로, 사람의 정신 과정과 뇌의 메카니즘을 탐구하는 학문, 참고: Figure 1.1

1.2 Memory Types

Learning and memory - Volume 1의 chapter 1.0.2 A Typology of Memory Terms(1주차 시원)와 내용이 유사함. Learning and memory가 더욱 내용이 자세한데 반하여, 본 책은 tree로 각 기억의 상관관계를 명백히 명시함.

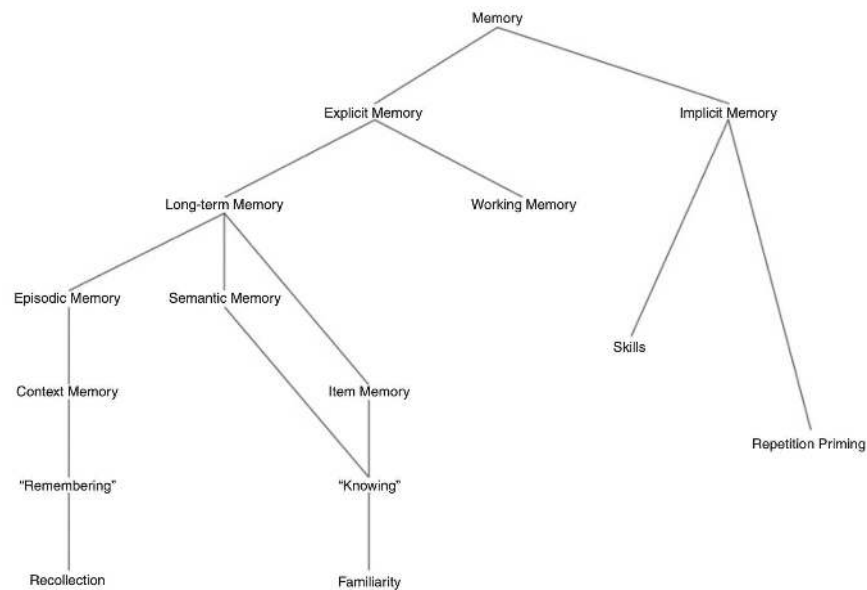


Figure 1.2: Organization of memory types.

Figure 1.2는 본 절서 설명하는 모든 기억을 tree 형태로 나타낸 그림임. memory는 단계별로 pair로 나타나며 explicit memory와 implicit memory로 나뉜 것이 첫번째 pair임.

1.2.1 explicit memory & implicit memory

explicit memory와 implicit memory는 각각을 conscious memory와 nonconscious memory라고도 함.¹ 이전 경험에 대하여 의식적 경험/인식이 있으면 explicit memory, 아니면 implicit memory.

EXAMPLE 1.1 (explicit memory & implicit memory). 각각의 예시와 실험 방법(learning and memory)

- explicit - 의식적으로 기억함(기억하는 행위에 초점)
: e.g., 파리 여행 떠올리기, 암기 리스트의 단어 떠올리기
: explicit memory test: 과거 기억쥬!(요청) → (응답)

¹learning and memory에서는 각각 용어는 '기억하는 행위에 초점'을 두거나 '기억한다는 것을 의식, 인지하고 있는가에 초점'을 두는지에 따라 구분하였음.

- implicit
 - : implicit memory test: 작업 수행 요청 → 이전 작업이 어떤 영향 미치는지 측정
 - 실험 예: ‘코끼리(elephant)가 포함된 단어장 외우세요’ → task: 학습한 단어이면 선택하세요!
 - : elephant 선택 → 명시적 : 2번 집단, 같은 단어장 위우고 → ‘다음으로 시작하는 단어 떠올리세요’: ele_____
 - : elephant! → 암묵적 (학습 안했으면? (star)elegant(star))
 - : priming: 무의식적으로 다시 떠오르는 현상
 - elephant 증가 비율, 40%(학습 후) - 10%(학습 전) = 30%

implicit memory

implicit memory의 2번째 pair은 skills와 repetition priming이 있음

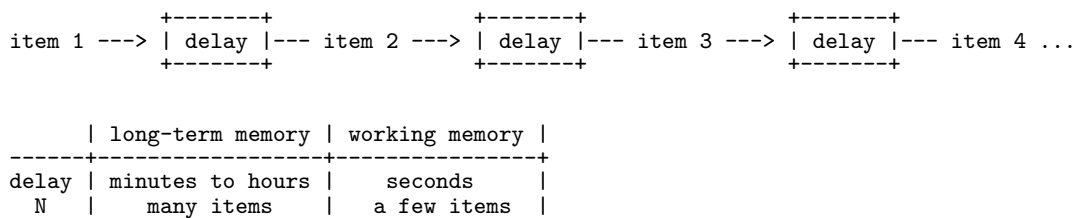
- **skills** 기술을 한번 연마하면 무의식적으로 행위 가능. e.g., 한번 자전거 기술 습득시 페달 각도, 균형 등 고려하지 아니함
- **repetition Priming** repetition priming은 반복하여 더 효율적이게 되는 것. e.g., 텔레비 광고 반복적으로 노출될 경우 쇼핑하다 광고 상품 볼 경우 생각나서 구매 확률 증진

explicit memory

explicit memory의 2번째 pair에는 long-term memory와 working memory가 있음. working memory의 경우 short-term memory라고도 부름²

DEFINITION 1.1 (old-new recognition). “old”와 “new”를 구분하는 것. 옛된 기억에 대하여 “old”라고 대답하는 것은 정확한 기억임. 예컨대, 새로운 pw와 이전 pw??

long-term memory와 working memory는 delay 동안 정보를 기억하고 있는지 여부에 따라 구별 가능.



long-term memory long-term memory 실험에서는 여러개의 item을 사용하는데, 각 item 별 delay 시간(몇분에서 몇시간)이 길어 피험자는 기억을 유지하지 못함.

working memory working memory 실험에서는 적은 수의 item을 사용하며, delay 시간(초 단위)이 짧아 피험자는 기억을 유지할 수 있음.³

+ explicit memory는 종종 long-term memory만을 나타낸다고 함.

²learning and memory에서는 두 용어를 명백히 구분하여 설명함. short-term memory의 경우 ‘정보가 분류되어 의식에 도달한 후에도 정보를 유지하는 것’을 말하며, working memory는 ‘정보 조작하는 동안 짧게 정보를 저장하는 것’을 말함. working memory는 보다 복잡한 과정임.

³learning and memory서는 mechanism 중심적, 본 책에서는 실험 기법을 중심으로 working memory를 설명하는 것 같음

1.2.2 episodic memory & semantic memory

long-term memory의 3번째 pair는 episodic memory와 semantic memory.⁴

- **episodic memory** 과거 episode와 관련된 상세한 기억. what occurred, where it occurred, and when it occurred
e.g., 마지막으로 부모님을 보았을 때를 떠올림
- **semantic memory** 오랜 기간에 걸쳐 학습된 기억. e.g., 단어의 정의
언어 처리와 관련

+ 본 책서 long-term memory는 semantic memory를 제외한 (tree에 존재하는) 모든 long-term memory를 지칭함.

NOTE 1.1. learning and memory서...

- Episodic Memory
 - 사건을 기억하는 neural mechanisms나 인지 절차에 바탕해서 공간 / 시간과 함께하는 기억
 - autonoetic consciousness: 과거 경험을 의식하여 떠올리는 능력
 - 논쟁 거리: 다른 동물도 episodic memory를 할까? → episodic-like memory 용어 등장

실험실에서 쓰는 측정 기법

- free recall: 순서 없이 자유롭게 기억해내기
- serial recall
- cued recall: 단서 주고 기억해내기
- recognition: 익숙한 것들을 골라내기
- source judgment: 시각? 청각? 등
- recency judgement: 어떤것이 최근?
- frequency judgment: 몇번 발생?

- Semantic Memory

세상에 대한 기본 지식, 물론 어마어마한 양의 정보

e.g., 단어, 의미, 개념 등등, 프랑스 수도나 세계 2차 대전(organize knowledge)

episodic memories에서 유래 가능

: episodic memories(수업 수강) → 시간 경과(수업 시간, 장소 등 정보가 점점 사라짐), 반복
→ semantic memory

episodic과 semantic memory의 경계가 쉽게 모호해질 수 있음

e.g., ‘최근에 수업에서 뭐 배웠니?’ → 시간적인 면 + 배운거에 대한 단서

word-priming technique: semantic memory를 연구하는 강력한 tool 두 단어를 보이고 두번째가 진짜 단어인지 가짜 단어인지(word-nonword) 판단하게함

- nurse → doctor 빠름

⁴learning and memory서 long-term memory는 본 책에 비하여 범주가 넓음. visual-spatial memory, imagery 등 다양한 종류를 설명하며, 심지어 skill 또한 long-term memory로 설명함.

- shoe → doctor 느낌
→ 연관된 단어는 속도가 빠름. semantic memory는 network처럼 연결되어 있음을 알 수 있음

1.2.3 context memory & item memory

4번째 pair는 context memory와 item memory.

- **context memory** item은 2가지 문맥(context) 중 하나로 제시됨.
e.g., 보라 & 민트, 왼쪽 & 오른쪽
old와 new를 인식(recognition)하는 것에 기반함
e.g., 사과를 본적 있음??????
- **item memory** item에서 문맥을 회상(recall)함
e.g., 그 사과가 무슨 색이었었는지?
+ 문맥은 정보의 원천이므로 context memory를 source memory라고 부르기도 함.
+ 2개의 item의 연관성에 대한 associative memory는 context memory와 유사함.

1.2.4 remembering & knowing

5번째 pair는 remembering과 knowing.

- **remembering** 주관적인 경험을 상세히 떠올리는 것
e.g., 차 어디에 주차하였지??????
일반적으로 context memory와 관련
- **knowing** 주관적인 경험을 상세하지 아니하게 떠올리는 것
e.g., 저 인간 어디에서 본 적이 있어! 하지만 어디서였는지는 기억나지 아니해.
일반적으로 item memory와 관련

1.2.5 recollection & familiarity

6번째 pair는 recollection과 familiarity.

- **recollection** all the forms of detailed memory
i.e., episodic memory, context memory, and “remembering”
describe strong memory
- **familiarity** all the forms of non-detailed memory
i.e., semantic memory, item memory, and “knowing”
describe weak memory

1.2.6 Tulving의 논문

Endel Tulving는 remembering과 knowing을 나눔. 증거:

1. 과거 상세한 것을 기억 못하지만 단어를 아는 환자(i.e., remembering을 못하는 환자)
2. introspection : 자신의 정신 과정을 들여다 보는 것, remembering과 knowing의 정신 과정이 다름. 참고: Figure 1.3

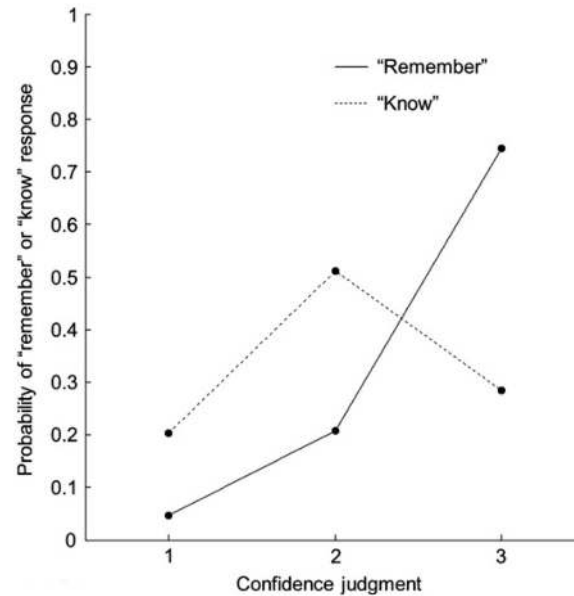


Figure 1.3: Probability of “remember” or “know” responses as a function of confidence judgements (key at the top right). Generated using data from Tulving (1985)

1.3 Brain Anatomy

뇌의 구성 요소: 후두엽(occipital lobe), 측두엽(temporal lobe), 두정엽(parietal lobe), 전두엽(frontal lobe)

gray matter & white matter

- 회질: 각 lobe의 표면, 세포체로 구성되어 있음
- 백질: 각 lobe의 표면의 내부, 액손으로 구성되어 있음

각 엽의 역할

- 후두엽(occipital lobe): 시각 처리
- 측두엽(temporal lobe): 시각 처리, 언어 처리
- 두정엽(parietal lobe): 시각 처리, 집중
- 전두엽(frontal lobe): 많은 인식 처리

뇌의 절반 이상이 시각 처리와 관련되어 있음 \Rightarrow 기억 연구에서는 일반적으로 시각 항목(e.g., 단어, 사진)을 자극으로 사용

cortex

Figure 1.4는 기억과 관련된 뇌의 지역들을 보여줌.

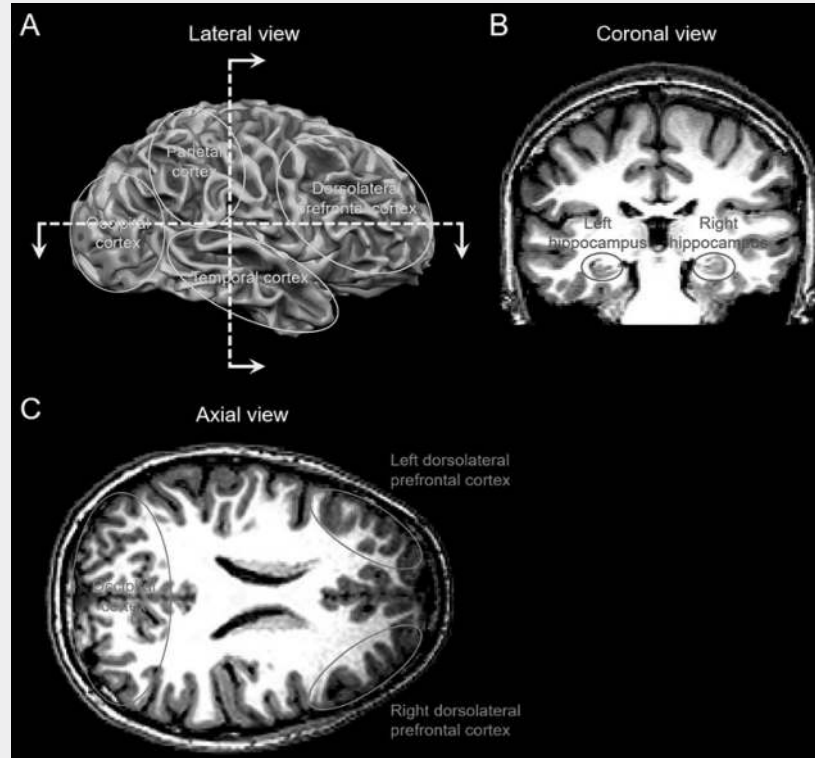


Figure 1.4: Brain regions associated with memory. Each region is shown within red ovals and labeled.

gyrus & sulcus

- gyrus(복수: gyri): 튀어나온 부분, Figure 1.4A의 연한 회색 부분들
- sulcus(복수: sulci): 홈, Figure 1.4A의 어두운 회색 부분들

과학 기사에서 주로 뇌 활성화는 특정 gyrus와 sulcus에 국한되어 있음

기억과 관련된엽과 피질

- 내측 측두엽(medial temporal lobe): 해마와 주변 피질로 구성
- 배측 전전두엽 피질(dorsolateral prefrontal cortex): 운동 처리 영역 앞쪽의 dorsolateral로 구성

Figure 1.5는 기억과 관련된 gyri와 sulci를 보여줌. 다른쪽 반구 또한 구조적으로 동일함.

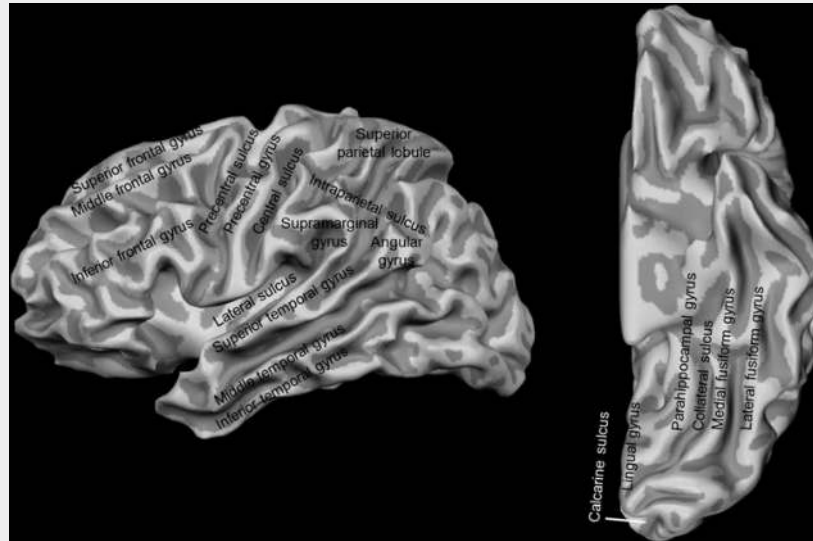


Figure 1.5: Gyri and sulci in brain regions of interest. Left, lateral view of the left hemisphere (occipital pole to the right). Right, inferior view of the left hemisphere (occipital pole at the bottom).

처음으로 시각 감각이 처리되는 영역은 V1으로 후두엽의 표면 중양을 따라 이어진 calcarine sulcus에 있음. V1은 브로그만 영역의 BA17과 동일함^{1.6}

1.3.1 Brodmann area(BA)

Korbinian Brodmann이 1909년 제작한 뇌 지도. 세포 모양, layering, 밀도 등 다양한 해부학적 특징에 기반하여 제작함. ⇒ 각 브로드만 영역은 다른 역할(e.g., 특정 인지 처리)을 할 수 있음.

(주의! 실제로 뇌 처리는 매우 복잡해서 여러 뇌 영역이 연관되고 상호작용할 수 있음(chapter 11). ⇒ 그림에도 각 영역이 분명히 전문화 되어있음)

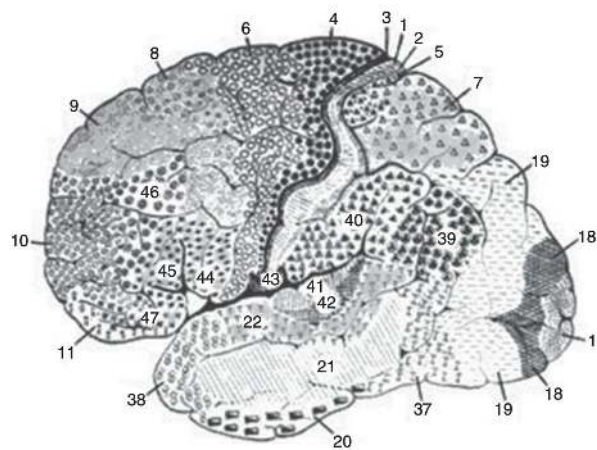


Figure 1.6: Brodmann map (1909). The left hemisphere with Brodmann areas labeled (lateral view, occipital pole to the right).

브로드만 영역	관련된 것
BA17	V1
BA39	angular gyrus
BA40	supramarginal gyrus
lateral part of BA7	superior parietal lobule
medial part of BA7	precuneus
BA4 & BA6	motor processing regions

Table 1.1: 각 브로드만 영역의 매핑

superior parietal lobule과 precuneus는 기억과 연관되어 있다고 함.⁵

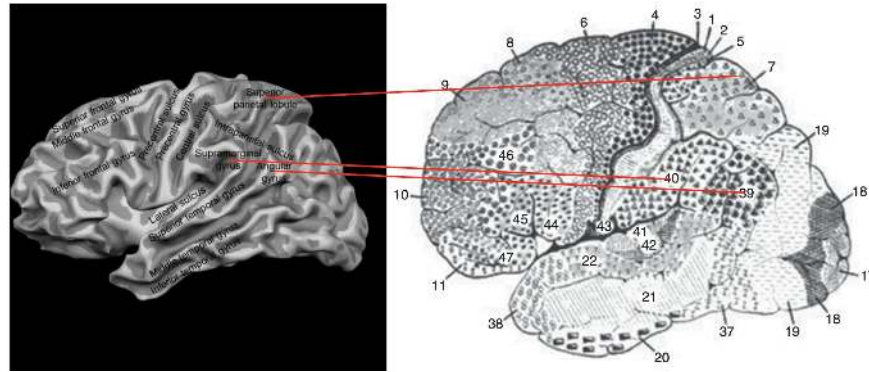


Figure 1.7: Brodmann map, gyri, and sulci

gyri/sulci와 Brodmann area는 뇌의 각 활성화와 관련되어 있음.

1.4 The Hippocampus and Long-Term Memory

patient H. M.(Henry Molaison, 1950Y 29sar)는 간질 발작으로 해마를 포함한 내측 측두엽(양쪽 반구서) 제거 수술을 함. 참고: Figure 1.8 지능과 성격에는 문제가 없었지만 long-term memory가 손실되는 기억상실증에 걸림.

- 수술 전 최근 몇년 기억 \Rightarrow 거의 없음(retrograde amnesia)
 - 수술 후 기억 \Rightarrow 거의 없음(anterograde amnesia)
 - 이전 사건 기억 \Rightarrow 존재
 - \rightarrow working memory 존재. e.g., 단어나 3자리 수를 몇분 동안 기억 가능
- \Rightarrow 해마와 주변 피질은 long-term memory에 중요한 역할을 하는구나!

the key stages of long-term memory include **encoding**, **storage**, and **retrieval**. The hippocampus has been associated with both long-term memory encoding and long-term memory retrieval. Long-term memory storage depends on a process called memory consolidation, which refers to changes in the brain regions, including the hippocampus, underlying long-term memory (see Chapter 3).

\Rightarrow long-term memory와 관련된 3가지 key stage 모두 해마와 관련되어 있음.

⁵비단, 두 용어 모두 책서 이후에 등장 아니함

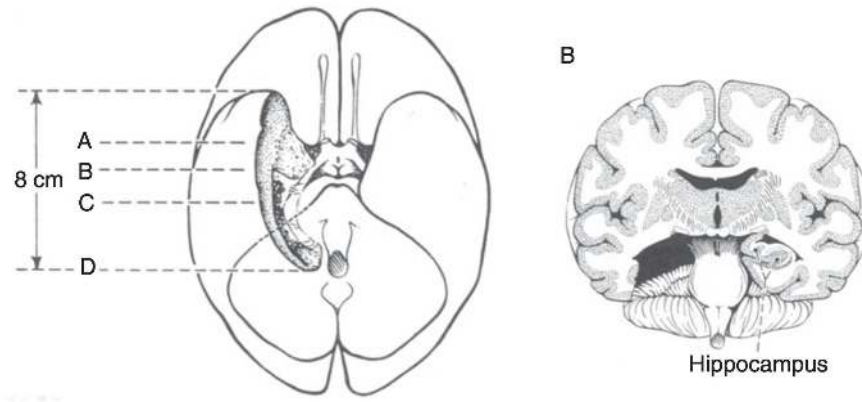


Figure 1.8: Depiction of medial temporal lobe resection in patient H. M.

1.5 Sensory Regions

sensory reactivation hypothesis 과거 기억 떠올리면 관련 지각과 관련한 뇌 영역이 활성화된다는 가설 e.g., ‘어제 무엇을 먹었지?’ ⇒ Blueberry Yogurt ⇒ 보라색(contents of memory) ⇒ 시각? V1

visual processing, language/auditory processing, motor processing, and olfactory processing...
→ 비단 시각 정보 많이 중요

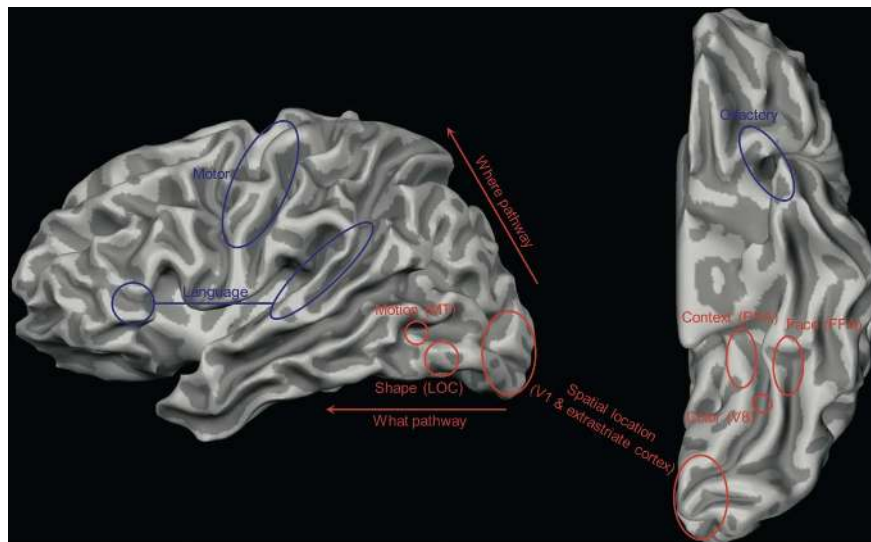


Figure 1.9: Sensory brain regions of interest.

Figure 1.9는 시각 처리와 관련된 뇌 영역을 보여주고 있음.

전체적인 경로:

1. V1(또는 striate cortex⁶): 특징 처리, shape, color, location, and motion
2. extrastriate cortex⁷: 처리하는 대상에 따라 영역 구분 가능

⁶striate: 줄무늬, 염색되면 줄무늬 있는 것 처럼 보인다고 함.

⁷striate cortex에 추가되어 있다고 함.

- **ventral visual regions:** 뇌의 아래쪽, 물체 정체성 처리
- **dorsal visual regions:** 뇌의 위쪽, 물체 위치 처리

2가지 경로:

- **what pathway:** V1 \rightarrow ventral extrastriate cortex \rightarrow ventral temporal cortex
- **where pathway:** V1 \rightarrow dorsal extrastriate cortex \rightarrow parietal cortex

경로를 따라 올라갈수록 점점 높은 수준의 처리가 진행됨. 왼쪽 눈에 들어온 것은 오른쪽 반구 right visual field서, 오른쪽 눈에 들어온 것은 왼쪽 반구 left visual field 처리되어.

left visual field & right visual field \rightarrow contralateral visual processing(or left early visual areas & right early visual areas)

Extrastriate cortex는 다양한 시각적 특징 처리에 특화된 영역들을 포함함:

- **lateral occipital complex (LOC):** 모양 처리
- **V8:** 색상 처리
- **MT:** 움직임 처리
- **fusiform face area (FFA):** 얼굴 처리
- **parahippocampal place area (PPA):** 문맥(+ places or scenes) 처리

(주의! 하나의 영역이 특정 역할의 유일한 영역인 것은 아님. FFA 말고도 얼굴 처리와 관련된 영역은 많이 있다고 함.⁸⁾)

fMRI로 확인시 기억과 관련된 공간이 지각 관련 공간보다 작음 \Rightarrow 기억이 지각보다 상세하지 아니하기 때문이겠구나!

1.6 Control Regions

control regions는 explicit memory 구성을 안내함.

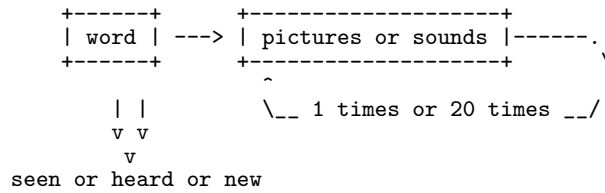
기억 통제와 관련된 2가지 영역: the dorsolateral prefrontal cortex and the parietal cortex.

- **dorsolateral prefrontal cortex:** 기억 결정에 관여
- **parietal cortex:** 기억 집중에 관여

DEFINITION 1.2 (top-down interaction). top-down interaction은 감각 영역을 조절하는 것. e.g., 시각적 자극에 집중하는 것.

⁸‘얼굴 처리’와 같은 역할은 그저 우리가 생각한 역할인거 아닐까요??

1.6.1 fMRI를 통한 기억 통제 영역 찾기 실험



단어를 제시하고 1번 또는 20번 관련된 사진이나 소리를 제시함.

⇒ 1번 제시한 경우 이를 기억하기 위해서는 더 많은 통제가 필요함

⇒ fMRI로 dorsolateral prefrontal cortex와 parietal cortex가 활성화 된 것을 보임

1.6.2 fMRI를 통한 item memory, source memory 영역 찾기 실험

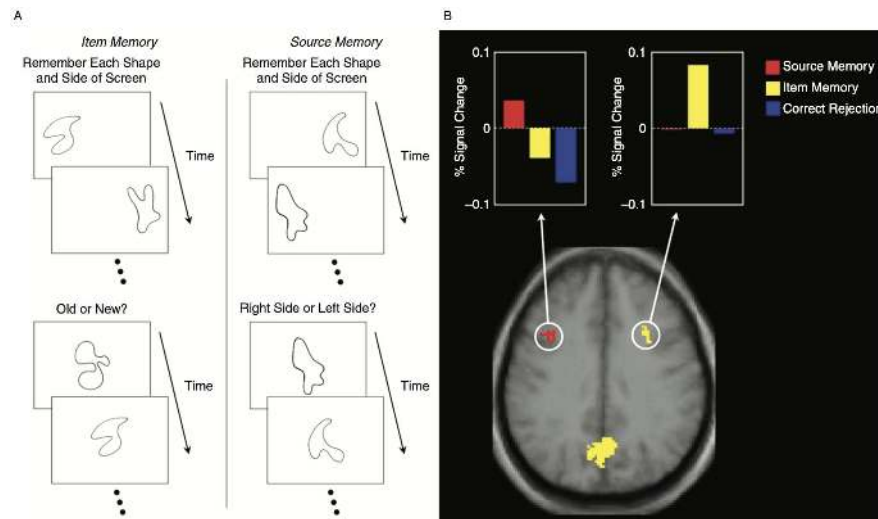


Figure 1.10: Item memory and source memory paradigm and fMRI results.

실험 청사진:

- **제시:** 말로 설명할 수 없는 추상적인 도형이 왼쪽 또는 오른쪽으로 움직임
- **item memory:** ‘old’ or ‘new’로 대답, 단지 친숙한가의 문제임
- **source memory:** ‘left’ or ‘right’로 대답, 도형의 첫 위치를 떠올려 보아

⇒ item memory는 노란색 부분, source memory는 빨간색 부분서 활성화 되었음

Review Questions

1. explicit memory와 implicit memory의 차이는?
2. recollection와 familiarity의 차이는?

3. 기억과 관련된 3가지 뇌 영역은?
4. 영역 V8은 색상과 모션 중 어떤 처리 담당?
5. dorsolateral prefrontal cortex는 감각 영역? 아니면 통제 영역?

THEME 3

BRAIN REGIONS ASSOCIATED WITH LONG-TERM MEMORY

정정. 미안해요 π π π π π

item memory & context memory(Subsection 1.2.3)에서...

기존:

- context memory item은 2가지 문맥(context) 중 하나로 제시됨.
e.g., 보라 & 민트, 왼쪽 & 오른쪽
old와 new를 인식(recognition)하는 것에 기반함 □
e.g., 사과를 본적 있음???????
- item memory item에서 문맥을 회상(recall)함
e.g., 그 사과가 무슨 색이었었었지?

수정:

- **study phase:**
항목(item)은 2가지 상황(context) 중 하나로 제시됨.
e.g., 보라 & 민트, 왼쪽 & 오른쪽
- **item memory:**
old와 new를 인식(recognition)하는 것에 기반함
e.g., 사과를 본적 있음???????
- **context memory:**
item에서 문맥을 회상(recall)함
e.g., 그 사과가 무슨 색이었는지?

During the study phase of such experiments, items are presented in one of two contexts, such as on the left or right side of the screen or in red or green.

NOTE 3.1. 되새기기

long-term memory서...

관점	용어 쌍	설명
과제 수행	Context Memory vs Item Memory	실험에서 측정하는 행동 수행
주관적 경험	“Remembering” vs “Knowing”	참가자가 느끼는 주관적 체험
일반적 개념	Recollection vs Familiarity	포괄적인 이론적 개념 height

Table 3.1: claude 제공

3.1 Episodic Memory

can refer to many other related forms of memory including context memory, source memory,

“remembering,” (the subjective experience during detailed retrieval, e.g., ‘차 어디 주차?’ 상상하는 시각 경험)

recollection(accurate retrieval of contextual information, e.g., 어느쪽에 주차되어 있었는지), and autobiographical memory(a specific type of episodic memory for detailed personal events)

episodic memories는 control regions and sensory regions 모두와 관련되어 있음. 비단, 본 chapter 서는 sensory region은 다루지 않음.

episodic memory와 관련된 control regions:

medial temporal lobe(which include **the hippocampus and the parahippocampal cortex**),

dorsolateral prefrontal cortex(이미지 가장 왼쪽, 활성화 아니 된 곳),
 parietal cortex(inferior parietal cortex (**angular gyrus**) and the **medial parietal cortex** (ex-
 tending into **retrosplenial cortex** and **posterior cingulate cortex**: 함께 활성화))
Bold된 글씨는 Figure 3.1에서 라벨링된 구역임.

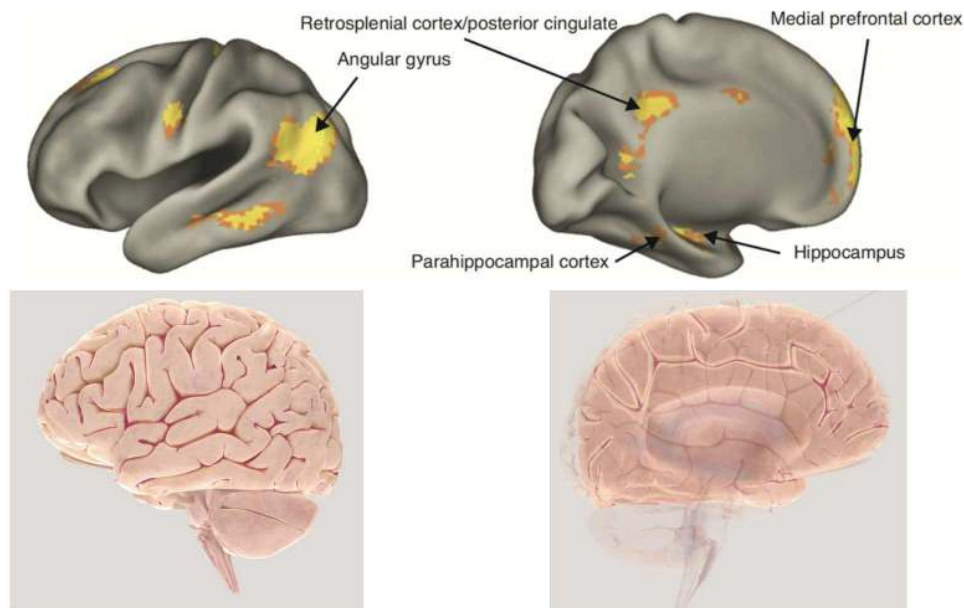


Figure 3.1: Regions of the brain associated with episodic memory. fMRI activity (in red/yellow) in the left hemisphere

3.1.1 the hippocampus and the parahippocampal cortex

비교적 잘 알려진 지역.

parahippocampal cortex

processes the context of previously presented information:

e.g., the spatial location (e.g., the left or right side of the screen)

or the color (e.g., red or green) of an object that was presented earlier.

시간적 정보 처리한다는 fMRI 증거 있음.

NOTE 3.2. experiment (Ekstrom, Copara, Isham, Wang Yonelinas, 2011)^a

실험 청사진:

study phase:

참가자들을 가상환경서 8개의 다른 매장 위치와 방문 순서를 학습함.

• **test phase:**

하나의 목표 매장을 선택 받은 후...

– 가장 가까운 다른 매장 2개(spatial)

– 가장 방문 순서가 인접한 2개(temporal)

선택.

⇒ 정확한 공간/시간 기억은 parahippocampal cortex를 활성화함.

^ahttp://humanspatialcognitionlab.org/wp-content/uploads/2014/10/EkstromCopara_etal2011_Neuroimage-1.pdf

perirhinal cortex

parahippocampal cortex의 앞쪽, medial temporal lobe에 속함.

item information(e.g., 이전에 본 적이 있는지?) 처리 ⇒ episodic memory는 item들로 구성되어 있음. 그저 familiarity?

hippocampus

여러개 item + context 묶음 ⇒ 상세한 episodic memory e.g., 캘리포니아 Newport 해변으로 여행간

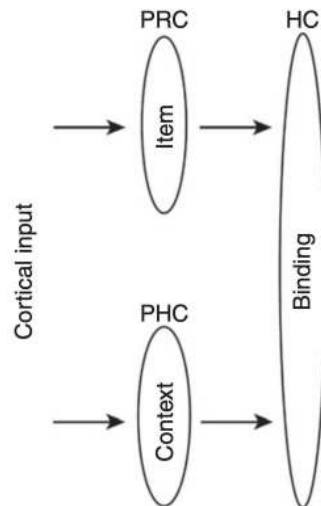


Figure 3.2: Model of medial temporal lobe sub-region function. The perirhinal cortex (PRC) processes item information, the parahippocampal cortex (PHC) processes context information, and the hippocampus (HC) binds item information and context information.

기억을 떠올림 → perirhinal cortex: 친구, parahippocampal cortex: 서있던 지역

3.1.2 dorsolateral prefrontal cortex & parietal cortex

역할 잘 알려진 바 없음.(! 연구의 주요 주제)

dorsolateral prefrontal cortex 추측: 1) 기억의 내용을 평가 2) 다른 영역에 저장된 정보 선택

parietal cortex 추측: 1) 기억 내용 저장 2) attention

inferior parietal cortex: “remembering”과 관련, 비단 source memory와 관련 없음.참조: Figure 3.3

NOTE 3.3. long-term memory의 regions episodic memory 관련 영역: the dorsolateral prefrontal cortex, the parietal cortex, and the medial temporal lobe

🧠 구체적 예시로 비교

📖 같은 기억, 다른 처리

상황: "파리 여행에서 에펠탑을 봤다"

Context memory (inferior parietal 활성화):

- "그날 비가 와서 축축했고, 연인과 손을 잡고 있었고, 감동적이었다"

Source memory (inferior parietal 비활성화):

- "에펠탑 높이가 324m라는 정보를 가이드북에서 읽었나, 가이드에게서 들었나?"

🔬 연구 방법론의 차이

아마도 이 연구에서:

- **Autobiographical memory task:** "당신의 개인적 경험을 생생하게 회상하세요"
- **Source memory task:** "이 정보를 어디서 학습했는지 판단하세요"

💡 결론

Inferior parietal cortex는:

- 감정적이고 주관적인 맥락 재현에는 중요 ✅
- 객관적이고 분석적인 출처 판단에는 덜 중요 ❌

즉, 같은 "맥락"이라도 개인적 의미와 감정이 담긴 맥락과 정보 처리를 위한 객관적 맥락은 뇌에서 다르게 처리된다는 뜻입니다!

Figure 3.3: @claude

⇒ item memory와도 관련되어 있음 ⇒ 궁극적으로 long-term memory와 관련된 지역임.

3.2 Semantic Memory

Semantic memory has been associated with the left dorsolateral prefrontal cortex (episodic memory와 다른 영역), the anterior temporal lobes, and sensory cortical regions

left dorsolateral prefrontal cortex 언어 처리 또는 다른 피질 영역에 저장된 semantic memory 선택 처리

sensory cortical regions

- 동물 이름 말하기 → lateral inferior occipital-temporal cortex 활성화(living things 인식하는)
- 도구 이름 말하기 → medial inferior occipital-temporal cortex 활성화(nonliving things 인식하는)

anterior temporal cortex 알츠하이머 환자를 대상으로 left anterior temporal lobe가 semantic memory와 관련 있음을 알게 되었음.

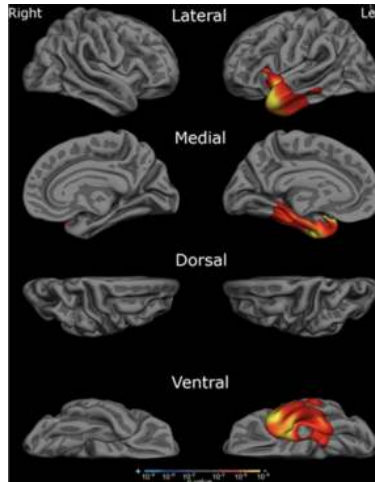


Figure 3.4: Regions of the brain associated with semantic memory. Cortical thinning in Alzheimer's patients (in red/yellow) associated with disruption in semantic memory.

anterior temporal cortex 역할: ? ! 최근 연구 주제

추측: 1) semantic information 저장 2) 다른 피질 영역에 저장된 정보를 연결(마치 해마가 episodic memory 연결하는 것 처럼)

anterior temporal cortex가 여러 감각(시각, 청각, 사회적)의 semantic memory를 매개한다는 증거가 있음.

NOTE 3.4. experiment(Simmons, Reddish, Bellgowan & Martin, 2010)

실험 청사진:

피험자는 사람, 건물, 망치에 대하여 학습함: 'the brooks hammer is eight years old'. 'patrick was born in little rock'

반복학습하며 fMRI 관측 \Rightarrow 사람 학습시 유독 left and right anterior temporal lobe 활성화
 \Rightarrow anterior temporal cortex는 social information과 관련있지 아닐까?

3.3 Memory Consolidation

표준 가설: long-term memory: hippocampal-cortical interactions \Rightarrow cortical-cortical interactions (1-10년 소유)

증거: 해마 손상된 기억 상실증 환자, 1년 전을 기억하네, 해마는 그 보다 오래된 기억에 관여하지 아니하나?

비단, 해마 손상되니 30년전 기억 손상된 사례가 존재함..((Nadel & Moscovitch, 1997))

대안 가설: 해마는 평생 장기 기억 검색에 관여?

- 부시 대통령, 대량 학살 무기 있다는 추측으로 어느 나라에 전쟁 선포했는가?
 \rightarrow semantic memory \rightarrow 해마 상관 없음, 기억 가능
- 15년전 유니버설 스튜디오 방문한 적이 있는가?
 \rightarrow autobiographical memory \rightarrow 기억 불가

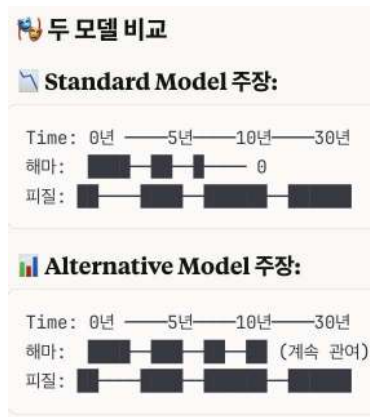


Figure 3.5: @claude

오래된 기억일 수록 회상할 때 해마의 영향이 작다는 연구(당시 뉴스를 물어보며 fMRI 측정) 비단, 문제점 두가지:

1. Semantic memory으로 실험
→ 해마는 episodic memory에 더 중요, 잘못된 실험 아닐까?
2. 해마 활동이 0으로 떨어지지 아니함

해마가 autobiographical memory에 중요함을 확인해 보자. TGA(transient global amnesia) 환자는 해마만 일시적으로 손상된 환자(focal lesions restricted to the hippocampus). Figure 3.6 참조.¹

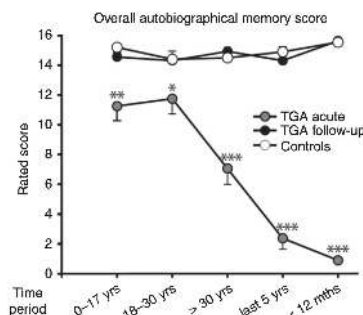


Figure 3.6: Autobiographical memory disruption for recent and remote events in patients with hippocampal lesions. Autobiographical memory score plotted as a function of the time period before the onset of transient global amnesia (TGA). TGA patient performance (in gray) and control performance, including performance when the TGA patients no longer had a lesion (follow-up, in black) and performance of participants with no lesions (in white; key to the right).

? 환자 14명 p-value 0.001?

consolidation 연구가 어려운 이유:

- 순수히 해마만 손상된 사람 찾기 어려움
- 실험하는 과정에서 해마가 사용되는 모순적 상황 자주 등장

¹<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3198338/>

3.4 Consolidation and Sleep

알려지길 consolidation은 다음 수면서 시작되어.

기본 규칙: 옛 기억 방해 최소화 하며 새로운 기억을 통합함.

수면은 REM(rapid eye movement) 수면과 non-REM(NREM) 수면으로 나뉨.

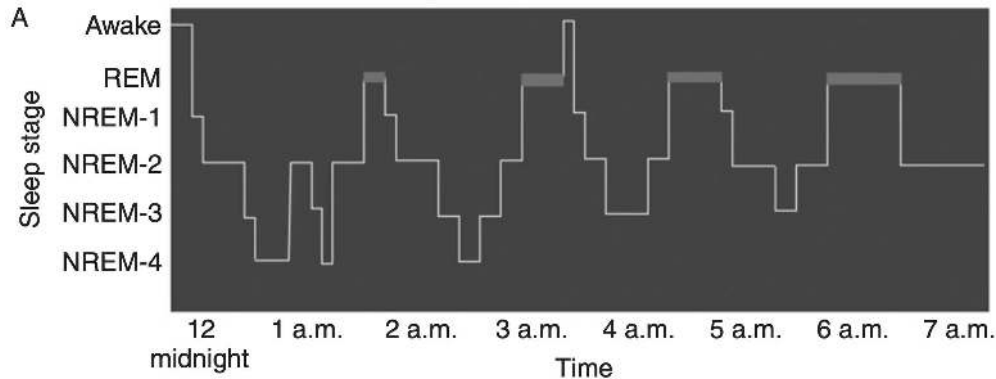


Figure 3.7: REM and non-REM (NREM) sleep stages as a function of time for a typical night of sleep (thick gray bars show REM sleep).

- **REM 수면:** 수면 중 두번째 반(second half)서 주로 나타남, implicit memory consolidation에 중요한 것으로 보임
- **non-REM 수면:** 4개로 나뉘며, 3, 4단계(slow wave sleep)는 long-term memory consolidation에 중요함.

+ Neuroinsight workshop서 사용한 최신 논문: NREM은 쥐 기준 microstructure로 나뉘어져 있으며, 수축된 동공 상태서는 최근 기억을 재생 후 consolidation하며, 확장된 동공 상태서는 오래된 기억을 재생 후 consolidation

3.4.1 slow wave sleep

느린 파(less than 1 Hertz)

down-states(뇌의 전반적 활동 감소)와 up-states가 번갈아 나타남.

3.4.2 파들

Figure 3.8 참고

- **thalamic-cortical sleep spindle:**
11–16 Hertz로 진동
- **Hippocampal sharp-wave ripples(Hippocampal SWR):**
대략 200 Hertz로 진동
기억을 재생해서 공고화 \Rightarrow 중요! \Rightarrow 2가지 실험 제시하지만 생략.

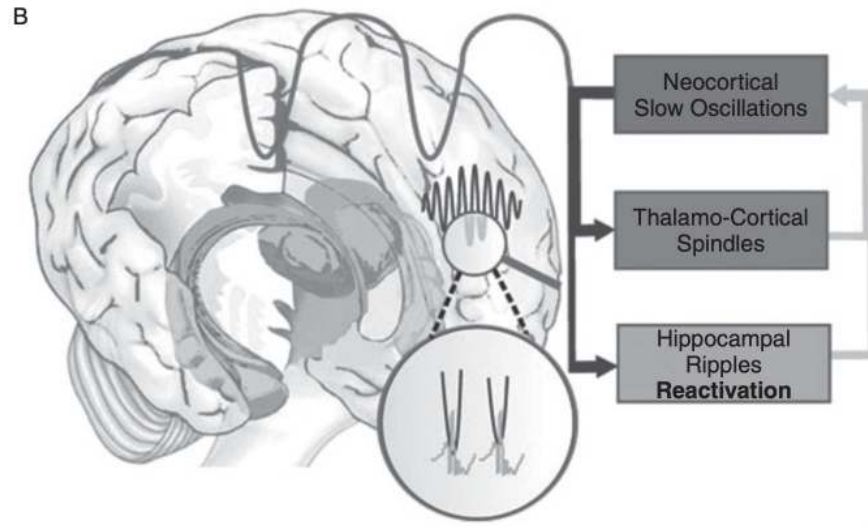


Figure 3.8: Schematic of the brain that includes the cortex (off white), the thalamus (dark gray structure near the center), and the hippocampus (light gray structure; occipital pole to the left) in addition to cortical slow waves, thalamic-cortical sleep spindles, and hippocampal sharp-wave ripples (labels to the right).

3.5 Memory Encoding

memory encoding은 기억 획득 과정 :<

3.5.1 subsequent memory analysis

실험실서 memory encoding과 관련된 영역 찾기 위해 subsequent memory analysis를 사용.

1. **study phase:** item list 보여주기
e.g., ‘wolf’, ‘ocean’이 포함된 list 보여주기
2. **test phase:** old, new item 보여주고 피험자 “old” 또는 “new” 판단하기
e.g., 피험자가 ‘wolf’는 “old”라고 판단하고, ‘ocean’은 “new”라고 판단함. → study phase서 wolf와 ocean 각각 뇌가 어떻게 반응하였더라??

memory encoding과 retrieval은 유사함 → 영역도 유사함.

sensory regions and control regions, including the dorsolateral prefrontal cortex, the parietal cortex, and the medial temporal lobe: 참고: Figure 3.9

당연히! 세부적인 것 달라:

- e.g., 1) perirhinal cortex 활성화 규모 다른데, 이후 chapter들서 많이 다름.
2) 해마의 하위 영역 활동 패턴이 다름.

3.6 Sex Differences

남자: spatial memory 우수(이전에 학습한 환경 탐색, 기억에 잠시 유지하는 working memory가 필요할 때)

여자: verbal memory 우수(단어 인식, 회상, 연상, autobiographical memory)

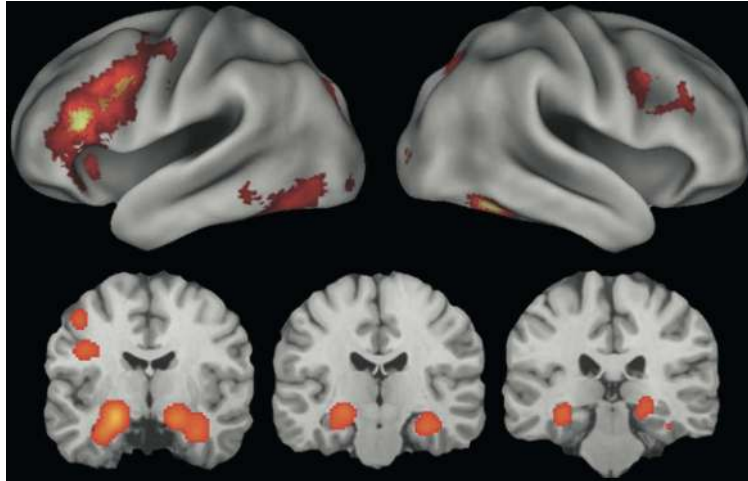


Figure 3.9: Regions of the brain associated with subsequent memory effects. fMRI activations associated with subsequent memory (in red/yellow; top, lateral views, occipital poles toward the center; bottom, coronal views, the left image is the most anterior and the right image is the most posterior). Medial temporal lobe activity, centered on the hippocampus, is shown near the bottom of each coronal image in both hemispheres.

→ 가상 미로서 위치 외우는 실험서도 서로 다른 전략 사용

대부분 long-term memory가 verbal memory를 사용하여 behavioral performance가 일반적으로 여자가 더 우수함.

the hippocampus and the dorsolateral prefrontal cortex에 estrogen receptors 많고, 뇌 비율 중 많이 차지함.

3.7 Superior Memory

One interesting discovery in recent years is that some individuals have “highly superior autobiographical memory.” These individuals can recall all the days of their lives in the distant past much like readers of this chapter can recall what they did yesterday. The condition is relatively rare, but over 50 individuals have been identified as having this condition.

Figure 3.10: 세상은 아름다워 @LM

알려진 것이 거의 없음. → 해당하는 사람을 피험자로 섭외하기 어려움.

런던의 택시 기사들 상대로 연구해 보아. posterior hippocampus의 gray matter 자란 반면, anterior hippocampus의 gray matter은 감소함.

블랙캡 운전사는 유일한 자격시험으로 지식 테스트를 넘어야 한다. 이를 통과하려면 런던 지리에 관한 모든 지식이 필요하며 합격에 필요한 학습 시간만 해도 평균 잡아도 무려 4년에 달한다.

— @www.techholic.co.kr

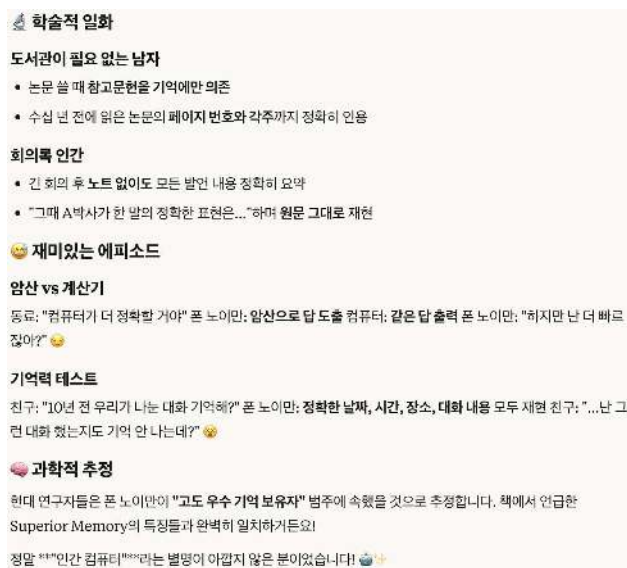


Figure 3.11: 폰 노이만(John von Neumann)의 기억력 관련 일화들은 정말 전설적입니다! @claude

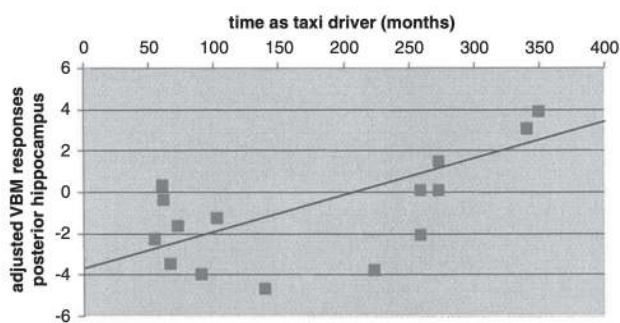


Figure 3.12: Change in the size of the posterior hippocampus as a function of time as a London taxi driver. The size of the posterior hippocampus (shown on the y-axis) was measured using voxel-based morphology (VBM).

?↗

superior memory 군들:

- 런던 택시 기사
- 세계 기억력 챔피언들
- π 암송 능력자
- highly superior autobiographical memory, 참고: Figure 3.10

특징들:

- 평균 지능과 비슷
- Zero-sum Model: 한 영역 향상 \rightarrow 다른 영역 저하

3.8 Review Questions

- What are the brain regions most commonly associated with episodic memory?
- Is there more evidence supporting the standard model of consolidation or the alternative model of consolidation?
- Which type of sleep is particularly important for long-term memory consolidation?
- Are long-term memory encoding and retrieval relatively similar cognitive processes or relatively different cognitive processes?
- Which strategy do females typically employ to a greater degree than males during long-term memory tasks?
- Do those with superior memory have advanced abilities on most cognitive tests?

BRAIN TIMING ASSOCIATED WITH LONG-TERM MEMORY

temporal dynamics of activity → understand the brain mechanisms underlying memory

4.1 Timing of Activity

ERP

naming: parietal (P) or frontal (F), odd: left hemisphere, even: right hemisphere

high voltage → cortical activity

ERP studies of memory have focused on two brain activity: to reflect familiarity and recollection

ERP component 1) mid-frontal old–new effect

occurs within 300 to 500 milliseconds after trial onset

maximum amplitude over frontal electrodes

than correct rejection of new items 보다 familiarity-based retrieval서 큰 진폭

ERP component 2) left-parietal old–new effect

occurs within 500 to 800 milliseconds after trial onset

a maximum amplitude over left parietal electrodes

correct rejection of new items 보다 recollection-based retrieval서 큰 진폭

FN400: frontal negative 400ms, 자극 후 전두엽서 400ms 후 나오는 음 값

“remember” 등급: R1(덜 상세), R2(상세)

activity at electrode P5 within 500 to 800 milliseconds: R2 > R1 > new

→ magnitude of the left-parietal old–new effect reflects the amount of information retrieved during recollection.

오랜 논쟁: familiarity and recollection가 과정이 다른가?
 mid-frontal old-new effect and the left-parietal old-new effect:
 topographically separable, temporally separable, and functionally separable
 ⇒ 다른 듯!

third ERP component) right-frontal old-new effect
 occurs within 1000 to 1600 milliseconds
 maximum amplitude over right frontal electrodes
 correct rejection of new items 보다 recollection-based or familiarity-based retrieval of old items서
 큰 진동
 일반적으로 주목하지 아니해.
 혹시? 추측! : post-retrieval monitoring (i.e., evaluating what was just remembered) or memory
 elaboration (i.e., filling in details of the previous experience)

4.2 The FN400 Debate

mid-frontal old-new effect의 FN400
 가설: repetition priming 반영: change in the magnitude of brain activity that occurs when an item
 is repeated
 Amnesic patients(with medial temporal lobe damage: impaired conscious long-term memory) →
 normal repetition priming effects → is a nonconscious process????

Paller왈, FN400는 priming referred의 한 유형: conceptual repetition priming: 틀린 주장
 Figure 4.2: conceptual priming effects: 400ms부터 high meaning old가 덜 떨어짐, 이는 FN400가
 다름.

위치도 달라
 mid-frontal old-new effect → familiarity

Phase and Frequency of Activity Synchronized brain activity: 실험, 이전 새로운 도형, 오른쪽
 시야 기억 - 왼쪽 시야 기억, 그리고 old-left-hits were subtracted from old-right-hits
 같은 반구서 동일한 시간에 활성화? 맞음!
 Such synchronous activity is referred to as in phase or phase-locked
 심지어, 전두, 측두, 후두도 동기화

Figure 4.1

4.2.1 cross-frequency coupling

brain regions with different frequencies of modulation can be in phase with each other → two brain
 regions interact

파 활동들 important role during long-term memory encoding and retrieval
 Theta activity → frontal regions

🧠 기억과 관련된 뇌파 주파수 대역 완벽 정리! ⚡

📊 세 가지 핵심 주파수 대역

🧠 Theta (4-8 Hz)

- 역할: 해마-피질 상호작용의 핵심!
- 기능: 장기기억 형성 시 해마가 피질과 "대화"하는 주파수
- 비유: 해마와 피질이 주고받는 "암호 신호" 📡

🛡️ Alpha (8-12 Hz)

- 역할: 피질 억제(Cortical Inhibition)
- 기능: 불필요한 뇌 영역을 "조용히" 만들어 집중력 향상
- 비유: 뇌의 "음소거 버튼" 🔇

⚡ Gamma (>30 Hz)

- 역할: Feature Binding (특징 결합)
- 기능: 서로 다른 뇌 영역에서 처리된 정보를 하나로 통합
- 예시: 모양(후두엽) + 색깔(측두엽) → 통합된 객체 인식
- 비유: 퍼즐 조각들을 하나의 그림으로 만드는 "점착제" 🧩

🎯 실제 작동 원리

기억 형성 시:

Theta: 해마 ↔ 피질 정보 교환

Alpha: 방해 영역들 억제

Gamma: 분산된 정보를 통합

🌟 핵심 메시지

뇌는 여러 주파수를 동시에 사용해서:

- 연결 (Theta)
- 억제 (Alpha)
- 통합 (Gamma)

이 세 가지를 조화롭게 운용하여 완벽한 기억을 만들어냅니다! 🧠⚡

마치 오케스트라처럼 각 주파수가 자신의 역할을 하며 기억이라는 아름다운 "교향곡"을 연주하는 것이죠! 🎵🧠

Figure 4.1: 82쪽 중간 부분: @claude

Gamma activity \rightarrow parietal-occipital regions

THEME 6

WORKING MEMORY

Working memory는 actively¹하게 몇초간 기억을 유지하는 것.
Working memory는 의식적 기억을 지배하는 explicit memory.

working memory paradigms consist of a **study phase**, a **delay period**, and a **test phase**.

Working memory has been associated with activity in the **dorsolateral prefrontal cortex**, **the parietal cortex**, and **sensory processing regions**.
⇒ long-term memory와 유사한데, 해마 포함한 medial temporal lobe가 없어요!

6.1 The Contents of Working Memory

Working memory contents는 적극적으로 유지하는 모든 종류의 기억. e.g.,

- 머리에 맴도는 음악 한 소절에 취해
- 폰에 적기 전 뇌서 되새기고 있는 party 장소
- 복사기까지 가면서 시각화하고 있는 실험실 화이트 보드의 코드..??

working memory서 정보 유지?? ⇒ 오랜 기간 later sensory cortical regions 활성화! : fusiform face area(FFA) ㅇㅇ!!, V1 ㄴㄴ... V1은 later이 아님

++ claude왈, "Fusi-" = 라틴어 "fusus" (방추, spindle)

NOTE 6.1. 얼굴, 집, 공간 위치와 관련된 working memory 영역 찾는 fMRI 실험^a

¹actively는 의식적임을 뜻하나요? : Working memory refers to actively holding information in mind during a relatively short period of time, typically seconds.

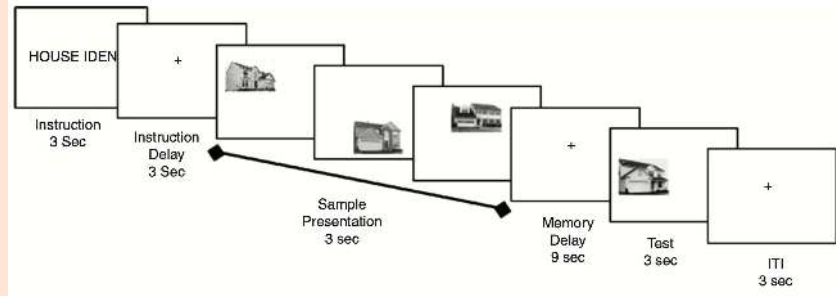


Figure 6.1: On each trial, a cue instructed participants whether to maintain object (face or house) information or spatial location information during the working memory delay period. Items were presented during the sample/study phase, followed by the delay period, the test phase, and an inter-trial-interval (ITI) before the onset of the next trial (the time of each period, in seconds, is shown under each panel).

house identity, face identity, or spatial location에 대한 working memory를 시험함.

청사진:

- house identity, face identity, spatial location을 보여줌: 과제 제시
- 과제에 맞는 사진들을 보여주
- “Match” or “Non-match” button을 눌러주
- ITI 간격 기다리고 다시 실험해

e.g., ^b

House identity - “이 얼굴이 아까 본 얼굴 중 하나인가?”

- **Face identity** - “이 집이 아까 본 집 중 하나인가?”
- **Spatial location** - “이 위치가 아까 본 위치 중 하나인가?”

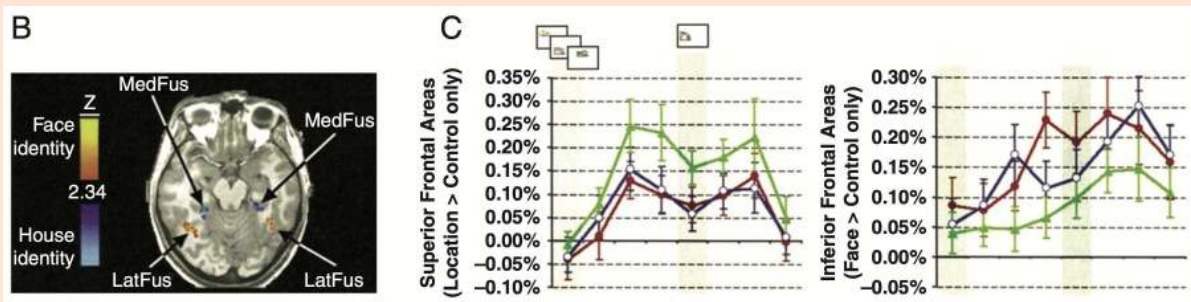


Figure 6.2: (B) Maintenance of faces during the delay period produced activity (in red/yellow) in the lateral fusiform cortex (i.e., the fusiform face area) and maintenance of houses during the delay period produced activity (in cyan/purple) in the medial fusiform/ parahippocampal cortex (i.e., the parahippocampal place area; axial view, occipital pole at the bottom). (C) Left, activity (percent signal change) in the superior dorsolateral prefrontal cortex (identified by contrasting working memory for spatial locations and control trials) was associated with maintenance of spatial locations (in green) to a greater degree than maintenance of faces (in red) and houses (in blue). Delay period activity corresponds to time points 2 to 4 (paradigm timing key at the top). Right, activity in the inferior dorsolateral prefrontal cortex (identified by contrasting working memory for faces and control trials) was associated with maintenance of faces (in red) and houses (in blue) to a greater degree than maintenance of spatial locations (in green).

delay동안 fMRI 측정 \Rightarrow face에 대하여는 house보다 lateral fusiform cortex(얼굴 인식과 관련)에서 더 강한 활성화 / 반대로, house에 대하여 face는 medial fusiform/parahippocampal cortex에서 더 강한 활성화

+ claude왈, “대비(contrast)”는 실험 조작이 아니라 데이터 분석 방법이에요! 각 조건의 뇌 활성화를 통계적으로 빼서 차이를 보는 거죠

또한 dorsolateral prefrontal cortex의 서로 다른 영역을 활성화

superior dorsolateral prefrontal cortex
working memory for spatial location과 더 큰 연관!

- inferior dorsolateral prefrontal cortex
working memory for faces and houses과 더 큰 관련!

pathway를 되세겨, dorsal 쪽은 where/spatial location processing, ventral 쪽은 what/identity processing하는 것과 일치함요

^a논문 링크 완전 길어

^b주의! 책 자세하지 못해 논문 gpt 돌렸음, 믿지 마셈요

6.1.1 dorsolateral prefrontal cortex

기존 지배적 의견: DL-PFC는 working memory의 contents를 저장하는 기본적인 장소임!

이거를 봐 — Figure 6.3 —, delay period 동안 활성화 되어 있는걸, V1 같은 early visual sensory regions와는 다르다구

새로운 의견: Curtis and D’Esposito (2003)왈, DL-PFC는 sensory cortical regions에 저장된 정보를 attention해주는 memory control processes해.

attention is all you neeeeee??6.4

NOTE 6.2. pattern classification algorithm을 사용한 V1 연구들

V1서 지속적인 working memory 관찰한 첫 fMRI 실험 <http://www.psy.vanderbilt>.

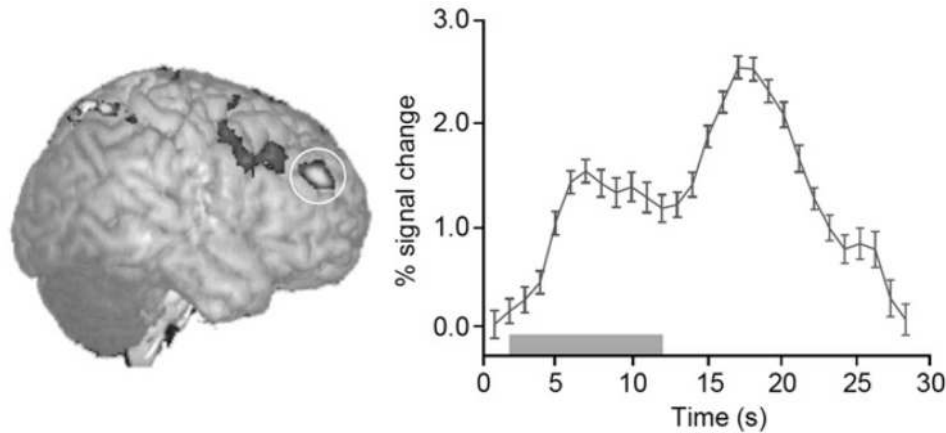


Figure 6.3: Sustained working memory fMRI activity in the dorsolateral prefrontal cortex. Left, sustained activity (in gray/white) during the working memory delay period in the dorsolateral prefrontal cortex (the rightmost activation) and the parietal cortex (the leftmost activation; lateral view, occipital pole to the left). Right, working memory delay period activation timecourse (percent signal change as a function of time from study phase onset) extracted from the dorsolateral prefrontal cortex region within the white circle to the left. The delay period is illustrated by the gray bar.

edu/tonglab/web/papers/Harrison_Tong_Nature_2009.pdf

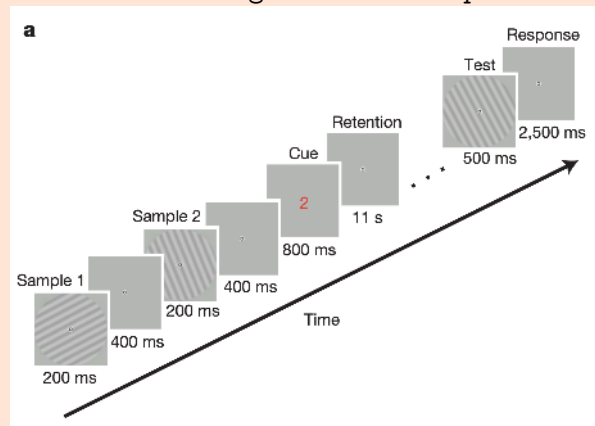


Figure 6.5: Timing of events for an example working memory trial. Two near-orthogonal gratings ($25 \pm 3^\circ$, $115 \pm 3^\circ$) were briefly presented in randomized order, followed by a numerical cue (green '1' or red '2') indicating which grating to remember. After an 11-s retention period, a test grating was presented, and subjects reported whether it was rotated clockwise or anti-clockwise relative to the cued grating.

11s의 delay period

~ 25° , ~ 115° 방향 격자(orientation grating)

이거 알려져 있기를 V1에 강한 자극: V1은 선 자극에 반응(!): 초기적

contrast ㄴㄴ! 대신: fMRI → voxel → multi-voxel pattern analysis and a pattern classification algorithm

pattern은 복잡해: with some voxels being positive in magnitude, some voxels being negative

오!! 정말 좋은 통찰이네요! 🤔

맞아요, **transformer의 attention mechanism**과 정말 유사한 구조예요!

Transformer vs Working Memory:

Transformer:

Query (Q) \leftarrow Attention Head
 Key-Value (K,V) \leftarrow 저장된 토큰들
 $\text{Attention}(Q,K,V) = \text{softmax}(QK^T/Vd)V$

Working Memory:

DLPFC \leftarrow Attention Controller (Query 역할)
 Sensory Cortex \leftarrow 저장된 정보들 (Key-Value 역할)
 Working Memory = DLPFC가 sensory regions에 attention

핵심 유사점:

1. 분리된 저장소와 제어기
 - Transformer: attention head \neq stored embeddings
 - 뇌: DLPFC \neq sensory storage
2. 선택적 접근 메커니즘
 - Transformer: 어떤 토큰에 attend할지 결정
 - 뇌: 어떤 sensory representation에 attend할지 제어
3. 지속적 활성화
 - Transformer: attention weights 유지
 - 뇌: DLPFC의 sustained activity

더 나아가면:

- **Multi-head attention** \leftrightarrow DLPFC의 여러 subregions
- **Cross-attention** \leftrightarrow 서로 다른 감각 양식 간 attention

정말로 뇌가 transformer 이전에 이미 이런 architecture를 "발명"했다고 볼 수 있겠네요! 🤔

생물학적 기능과 인공지능의 수렴진화 같은 느낌이에요!

Figure 6.4: 놀라운 통찰력에 감명 받은 클로두

in magnitude, and some voxels having a magnitude of zero.

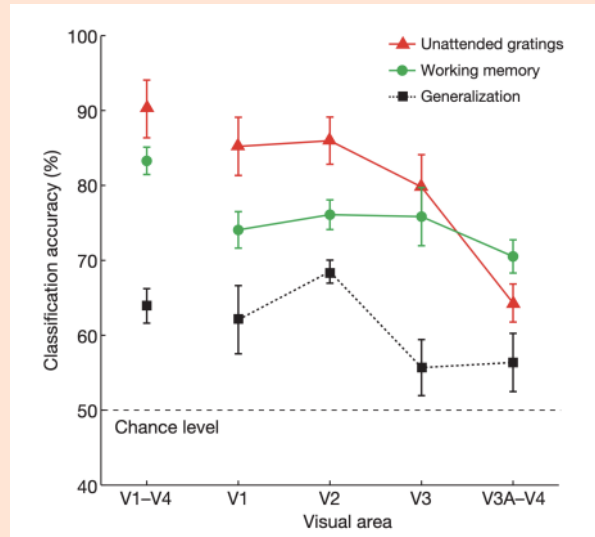


Figure 6.6: Orientation decoding results for areas V1–V4. The accuracy of orientation decoding for remembered gratings in the working memory experiment (green circles), unattended presentations of low-contrast gratings (red triangles), and generalization performance across the two experiments (black squares). Error bars indicate \pm s.e.m. Decoding was applied to the 120 most visually responsive voxels in each of V1, V2, V3 and V3A–V4 (480 voxels for V1–V4 pooled), as determined by their responses to a localizer stimulus ($1\text{--}4^\circ$ eccentricity). Individual areas V3A and V4 showed similar decoding performance but had fewer available voxels, so these regions were combined.

random? 50% 밖에 안 나옴, classification algorithm? 70%

V1 단순 현재 보는거 처리? ㄴㄴ, 기억까지 ㅇㅇ!

+ 유사한 실험 방법을 가진 다른 연구들,

V1 색상 정보도 유지,

V1과 V2 공간 정보도 유지: contralateral^a early visual regions는 우연보다 높음, 비단, ipsilateral early visual regions^b는 우연보다 높지 아니함. (chapter 1에서 비슷한 보고가 있었었1.5)

TMS를 활용한 연구

한쪽 반구의 V1 차단 → contralateral visual field의 working memory 능력 짜짜 저하: working memory 중 정확한 자극 표현 위해 V1 활성화 중요

요컨대, V1: 방향, 색, 공간 위치 지속적 유지

^a대측성, 반대편: 오른쪽 시야 → 왼쪽 뇌

^b동측성, 같은 편: 오른쪽 시야 → 오른쪽 뇌, 점두두사 ipsi: 자기 자신

contents of working memory? 아마 DL-PFC보다 sensory cortex이지

DL-PFC? sensory cortex? fMRI 시령 □

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4379324/pdf/nihms-673125.pdf>

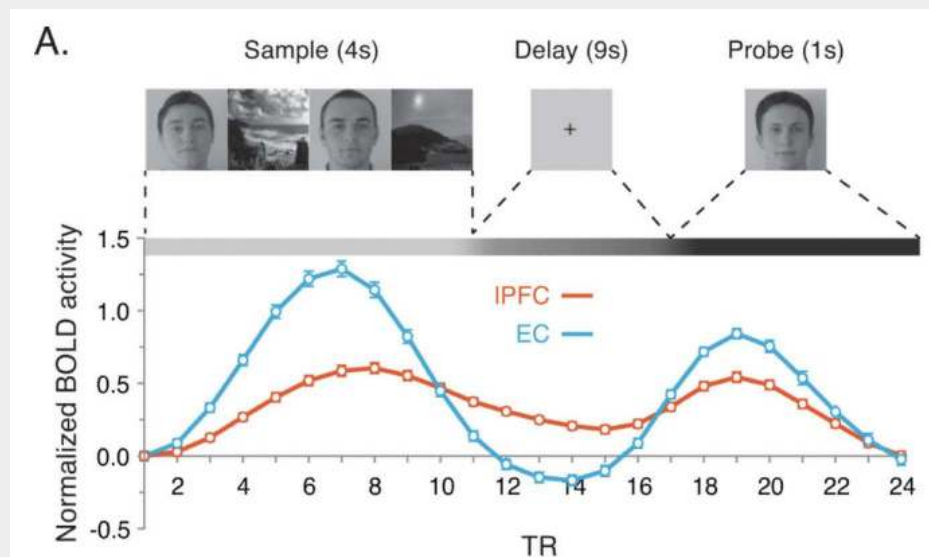


Figure 6.7: Behavioral task, BOLD timecourses, and anatomical regions of interest (ROIs). (A) Top: On each trial, participants were presented with two faces and two scenes and instructed to remember the relevant sample items (faces, scenes, or both faces and scenes). The sample images were immediately followed by a blank delay period, after which participants indicated whether the probe matched one of the relevant sample items. Bottom: Event-related BOLD timeseries were extracted from each of the ROIs, normalized, and averaged across participants. All error bars are s.e.m. The horizontal grayscale bar indicates the phase of the trial corresponding to BOLD and decoding measures, adjusted for the convolution with the hemodynamic response function.

실험 청사진:

- **study phase:** 2개의 얼굴과 2개의 집(? scenes)를 보여줌
→ 지시: 얼굴 기억해 / 집 기억해 / 둘다 기억해
- **delay period:** 9s

비교적 넓은 ROIs

- **Visual sensory regions:**
extrastriate cortical regions, the parahippocampal gyrus, and the fusiform gyrus (in both hemispheres)
- **Dorsolateral pre frontal regions:**
the middle frontal gyrus and the inferior frontal gyrus in both hemispheres

study phase에서는 DL-PFC 활성화 큰데, delay는 아냐 ⇒ 일단 DL-PFC는 working memory 저장소 아닐듯?

저자들의 가정: working memory를 저장하는 영역은 의미있는 활동 패턴을 가진다:
→ 집은 얼굴 보다 얼굴/집에 더 유사, 마찬가지로 얼굴은 집보다 얼굴/집에 더 유사

실험 방법: 또 classifier 만들어: 집, 얼굴, 집/얼굴 3가지로 분류

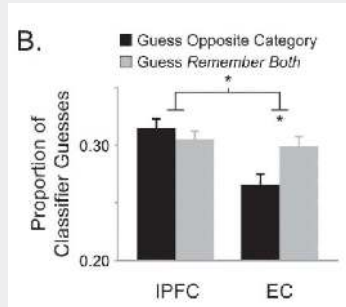


Figure 6.8: To distinguish between the storage of a sensory representation versus a non-sensory representation, we examined the misclassification of Remember Faces and Remember Scenes trials during the delay period. The classifier was disproportionately more likely to incorrectly guess Remember Both than the opposite category (i.e., guess Remember Faces on Remember Scenes trials and vice versa) in EC, consistent with a sensory representation, but not in IPFC. * indicates $p < 0.0001$.

Proportion of Classifier Guesses: (특정 유형의 틀린 답 개수) / (전체 틀린 답 개수)

→ 가정에 따라 sensory cortex가 working memory의 저장소인듯?

문제는 가정에서 시작함.

DL-PFC에 working memory가 저장된다는 것은 배타적인 이론. 더 많은 연구 부탁드립니다

6.2 Working Memory and the Hippocampus

해마: long-term memory인 episodic memory와 item memory와 관련되어 있어

그는 일생 동안 사생활 보호를 위해 H.M.으로 세상에 알려져 있었다. 수많은 의사와 과학자들이 그를 연구하면서 H.M.은 브로카의 환자 탄 이후에 가장 유명한 신경심리학의 연구 사례가 되었다. 1953년 27세의 H.M.의 간질이 내측 측두엽^{MTL}에서 발생했다고 생각하고, H.M.의 뇌 양쪽에서 이 영역들을 제거했다. 수술 후에 H.M.은 정상 같이 보였다. 그의 인성, 지성, 운동 능력 그리고 유머 감각에는 전혀 손상이 없었다. 남은 일생 동안 그는 자신이 왜 그곳에 있는지를 전혀 기억하지 못한 채 매일 아침 병실에서 일어났다. 매일 만나는 간병인들의 이름도 익힐 수 없었다. 그는 대통령의 이름도 몰랐고, 현재의 사건들을 설명할 수도 없었다. 반면에 H.M.은 수술 이전에 일어났던 일들은 여전히 기억하고 있었다. 내측측두엽은 새로운 기억을 저장하는 데 핵심적이지만 오래된 기억을 유지하는 데는 중요하지 않은 것으로 보였다. 앞에서 언급했듯이 이차크 프리드와 그의 동료들은 내측 측두엽에서 제니퍼 애니스톤 뉴런과 할리 베리 뉴런을 발견했으며, 이 영역이 지각과 생각 모두에 관련되어 있음을 확인했다. 이후...

– H.M.의 이야기

수술 이전에 일어났던 일들은 여전히 기억하고 있었다?
환자 H.M.: working memory는 존재! → 해마와 working memory는 관련 없나?

최근 연구 알, working memory: long-term memory처럼 해마와 관련될 수도?? 실험을 살펴 보아

Hannula Ranganath, 2008^a

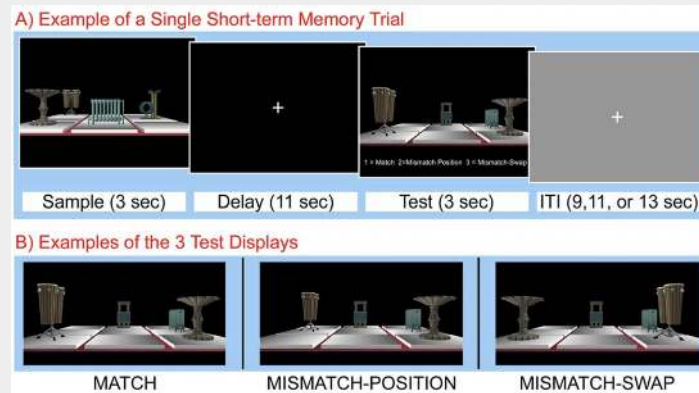


Figure 6.9: A, Illustration of the events associated with a single short-term memory trial. B, Examples of the three types of test displays; test displays were always rotated 90° counter-clockwise relative to the sample. Object-location bindings were intact in match displays, one of the objects (drums) moved to a new, previously unoccupied, location in mismatch-position displays, and two of the objects (drums, birdbath) swapped positions in mismatch-swap displays.

청사진:

- **study phase:** 4개 물체 보여줌, 격자에 있음

- **delay phase:** 11초, 90° 회전된 모습을 생각해
- **test phase:** 상상과 일치하는지 여부 대답해

맞, 아니 맞 대비:

- study phase: 해마 차이
- delay phase: 해마 차이 아님
- test phase: 해마 차이

⇒ 저자 왈, study phase, test phase 해마 차이는 working memory가 해마와 관련되어 있다는 증거!

? CN 이의

- working memory와 실질적 관련된 부분은 delay phase, 차이 없어
- s, t서 새로운 자극 → 해마 활성화
- 공간 처리와 큰 관련 → 해마!
- 마도, s, t서 term memory encoding processes 발생?

나: working memory, STM 같은거로 치부 가능??

^a<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2748793/pdf/zns116.pdf>

Bergmann, Rijpkema, Fernández Kessels, 2012^a

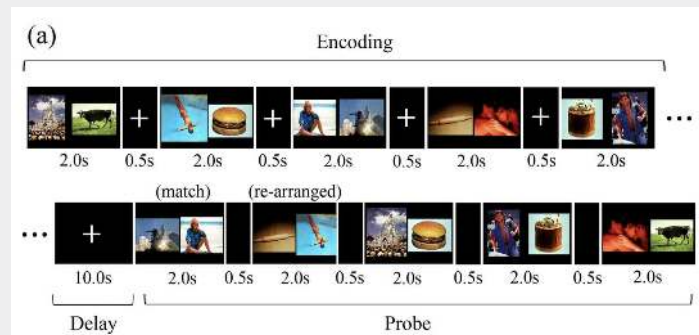


Figure 6.10: Schematic overview of the delayed-match-to-sample-task (a) and the two long-term memory tasks (b and c). Panel (a) shows a schematic representation of one trial of the delayed-match-to-sample task (with high-arousal stimuli).

청사진:

- study phase: 4개의 얼굴, 집(!) 쌍 보여줌
- delay phase: 10s

- test phase: 3개, 동일? 재배열?
- surprise!: 갑작스러운 테스트

맞춘 것도 long-term memory와 working memory로 나눌 수 있어,
해마는 working memory ㄴㄴ, long-term memory ㅇㅇ!

^a<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3530455/pdf/pone.0052616.pdf>

⇒ 해마와 working memory 관계 말해주는 fMRI 증거 ㄴㄴ

brain lesion 실험도 관계 찾고파

(Finke et al., 2008)^a

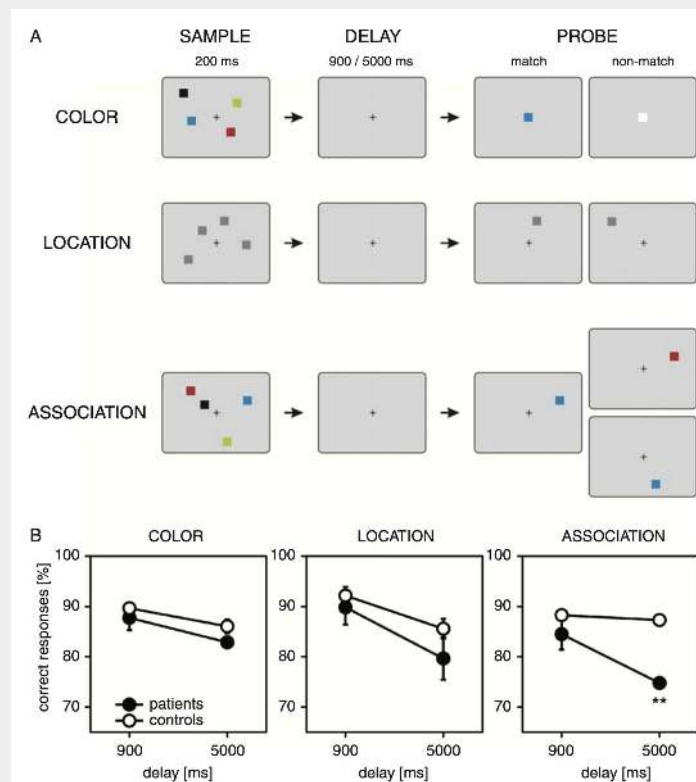


Figure 6.11: Color and/or location working memory paradigms and medial temporal lobe lesion results. (A) During each color working memory trial, illustrated at the top, colored squares were presented during the sample/study phase, there was a 900- or 5000- millisecond delay period, and then there was a probe/test phase in which participants made “match”–“non-match” judgments. The same paradigm was used for location and association (i.e., color and location) trials, illustrated at the middle and bottom, respectively. (B) Performance (percent correct) on the color, location, and association working memory tasks as a function of delay period duration (in milliseconds) for patients with medial temporal lobe damage and control participants that did not have a brain lesion (asterisks indicate significantly impaired performance in the patients as compared to control participants).

피험자: right medial temporal lobe 제거된 3명
 delay: 900ms/500ms
 5000ms, association에서 환자와 차이 커
 저자왈, association 관련 working memory와 해마 관계있는 듯

CN 이의:

- working memory면 900ms도 문제 있어야, 5000ms long-term memory 과정인듯?
- 공간처리는 해마짜짜냐
- lesion이 해마만이 아냐, the right amygdala, the hippocampus, the entorhinal cortex, and the perirhinal cortex

^a<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18705734/>

후속 연구:

- Baddeley, Allen Vargha-Khadem, 2010 해마만 손상된 환자
- (Allen, Vargha-Khadem Baddeley, 2014 동일 환자로 공간 시험 빼고
 ⇒ 해마와 관련 없는 듯?
 H.M. 사례 맞는 듯?

6.3 Working Memory and Brain Frequencies

working memory 관련 frequency band:

- theta frequency band (4 to 8 Hertz)
- alpha frequency band (8 to 12 Hertz)
- gamma frequency band (greater than 30 Hertz)

long-term memory 처럼... alpha: inhibition, gamma: binding of information in different cortical regions

long-term memory: theta - 해마-피질 상호작용, working memory에서는 ????

Sauseng et al., 2009

theta activity, alpha activity, and gamma activity during working memory가 궁금해

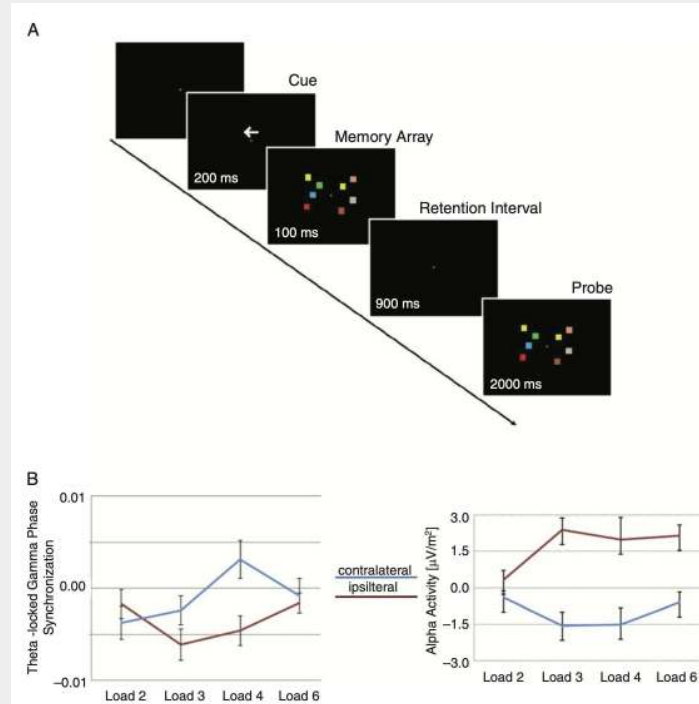


Figure 6.12: Color working memory paradigm and EEG results. (A) During each trial, an arrow cued one hemifield. The memory array/study phase consisted of two to six(???) colored squares in each hemifield, followed by a retention interval/delay period where the stimuli in the cued hemifield were maintained, and then during the probe/test phase participants indicated whether or not any of the colors in the cued hemifield had changed. (B) Left, theta-gamma synchronization as a function of the number of items in working memory (i.e., working memory load) at contralateral and ipsilateral occipital-parietal recording sites (key to the right). Right, alpha activity as a function of working memory load at contralateral and ipsilateral occipital-parietal recording sites.

청사진:

- 주의할 곳 화살표로 표시
- 2-6개 색 있는 사각형
- delay
- 바뀌었음??

6.4 Brain Plasticity and Working Memory Training

DEFINITION 6.1. brain plasticity working memory 훈련이 뇌 활동을 변화시키는 것을 brain plasticity라고 한다.

⇒ working memory 과제 계속해! → improves performance on that task, improve intelligence(!!!)

NOTE 6.3. Jolles, Grol, Van Buchem, Rombouts Crone, 2010 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811910004234?via%3Dihub>

3-5개 물건 순차적 제시→기억해/역순으로 기억해→1개 보여주고 물체 순서 버튼 눌러

주 3회 25분씩, 6주 연습

연습 전(timepoint 1), 연습 후(timepoint 2), 일부 6개월 또 후(timepoint 3)

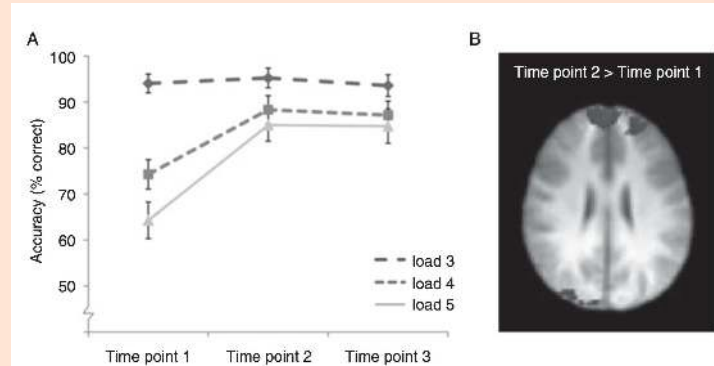


Figure 6.13: Behavioral effects and brain effects of working memory training. (A) Working memory accuracy (percent correct) as a function of time (time point 1 = pre-training, time point 2 = 6 weeks of training, time point 3 = 6 months after time point 2) and load (key at the bottom right). (B) fMRI activity (in dark gray) at time point 2 versus time point 1 (axial view, occipital pole at the bottom).

improve with training, particularly for higher working memory loads of four or five items, and these improvements were sustained 6 months after training

the anterior prefrontal cortex and the parietal cortex 활동 업/다운 동시→ 모순적? 아니아니, 넓은 지역, 여러 기능

활동 늘어난 것은 관련시키는 능력 chunking과 attention 유발 포함

- 장기 훈련:
활동 증가/감소 모두
- 단기 훈련(1시간 미만):
감소, visual sensory regions도 감소: repetition priming(최적의, 더 적은 energy)

→ 새로운 전략, 효율적인 network 만드는데 시간 걸려

increase in behavioral performance: dorsolateral prefrontal cortex and the parietal cortex→ working memory, long-term memory, imagery, and attention 등에 영향
working memory는 혹시 imagery의 단순히 다른 표현???

INDEX

- anterior temporal lobe, 22
- associative memory, 9
- Brodmann area, 12
- context memory, 9
- Control Regions, 15
- cortex, 10
- dorsolateral prefrontal cortex, 36
- encoding, 26
- episodic memory, 8, 19
- explicit memory, 6
- extrastriate cortex, 14
- familiarity, 9
- FFA, 15
- fusiform face area, 15
- gyrus, 11
- highly superior autobiographical memory, 29
- Hippocampal sharp-wave ripples, 25
- hippocampus, 20, 41
- implicit memory, 6
- inferior dorsolateral prefrontal cortex, 36
- item memory, 9
- knowing, 9
- lateral fusiform cortex, 36
- lateral occipital complex, 15
- left dorsolateral prefrontal cortex, 22
- left visual field, 15
- LOC, 15
- long-term memory, 7
- medial fusiform/parahippocampal cortex, 36
- memory consolidation, 23
- MT, 15
- multi-voxel pattern analysis, 36
- non-REM sleep, 25
- old-new recognition, 7
- parahippocampal cortex, 20
- parahippocampal place area, 15
- patient H. M., 13
- pattern classification algorithm, 36
- perirhinal cortex, 21
- PPA, 15
- recollection, 9
- REM sleep, 25
- remembering, 9
- repetition Priming, 7
- right visual field, 15
- semantic memory, 8, 22
- sensory cortex, 39
- sensory cortical regions, 22
- sensory reactivation hypothesis, 14

skills, 7
slow wave sleep, 25, 25
source memory, 9
striate cortex, 14
subsequent memory analysis, 26
sulcus, 11
superior dorsolateral prefrontal cortex, 36
thalamic-cortical sleep spindles, 25
top-down interaction, 15

V1, 12, 36
V8, 15
working memory, 7

내측 측두엽, 11
두정엽, 10
배측 전전두엽 피질, 11
백질, 10

인지 신경과학, 6
인지 심리학, 5
전두엽, 10
측두엽, 10

행동 신경과학, 5
회질, 10
후두엽, 10