

Cognitive Neuroscience of Memory

BCSC

July 20, 2025

일러두기

하나. 본 문서는 Cognitive Neuroscience of Memory의 정리본임.

CONTENTS

1 Types of Memory and Brain Regions of Interest	5
1.1 Cognitive Neuroscience	5
1.1.1 인지 심리학 Cognitive psychology	5
1.1.2 행동 신경과학 Behavioral neuroscience	5
1.1.3 인지 신경과학 Cognitive 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

CONTENTS

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
Index		33

THEME 1

TYPES OF MEMORY AND BRAIN REGIONS OF INTEREST

1.1 Cognitive Neuroscience

1.1.1 인지 심리학 Cognitive psychology

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

1.1.2 행동 신경과학 Behavioral neuroscience

동물로 부터 뇌의 메카니즘을 찾는 학문

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

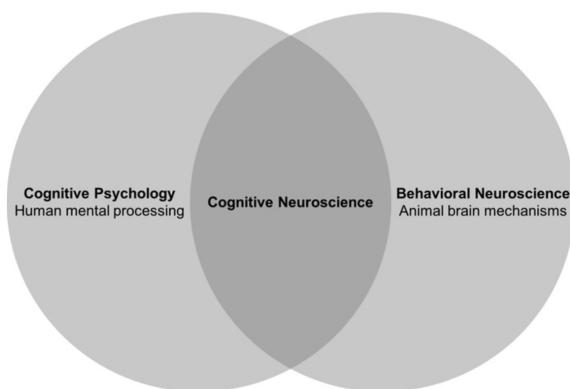


Figure 1.1: The relationships between the fields of cognitive psychology, cognitive neuroscience, and behavioral neuroscience.

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.

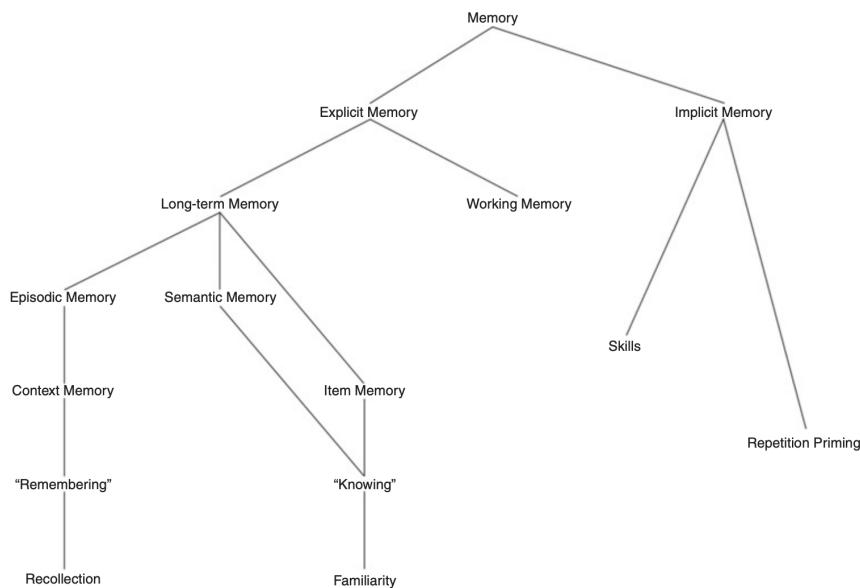


Figure 1.2: Organization of memory types.

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 기억줘!(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

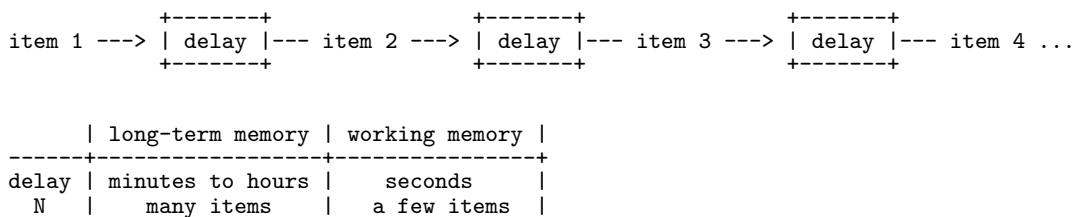
- **skills** 기술을 한번 연마하면 무의식적으로 행위 가능. e.g., 한번 자전거 기술 습득시 페달 각도, 균형 등 고려하지 아니함
- **repetition Priming** repetition priming은 반복하여 더 효율적이게 되는 것. e.g., 테레비 광고 반복적으로 노출될 경우 쇼핑하다 광고 상품 볼 경우 생각나서 구매 확률 증진

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 memory에서는 mechanism 중심적, 본 책에서는 실험 기법을 중심적으로 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
 - 논쟁거리: 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 두 번째가 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, 원쪽 & 오른쪽

old와 new를 인식(recognition)하는 것에 기반하므로

e.g., 사과를 본 적 있음???????

- **item memory** item에서 문맥을 회상(recall)함

e.g., 그 사과가 무슨 색이었었었지?

+ 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 remembergin과 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

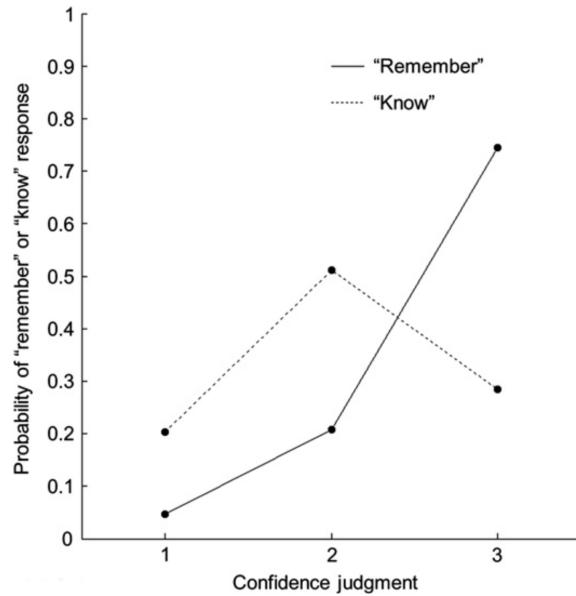


Figure 1.3: Probability of “remember” or “know” responses as a function of confidence judgements (key at the top right). Generated using data from Tulving (1985)

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, 엑손으로 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 ⇒ 기억 연구에서는 일반적으로 시각 항목(e.g., 단어, 사진)을 자극으로 사용

cortex

Figure 1.4는 기억과 관련된 뇌의 지역들을 보여줌.

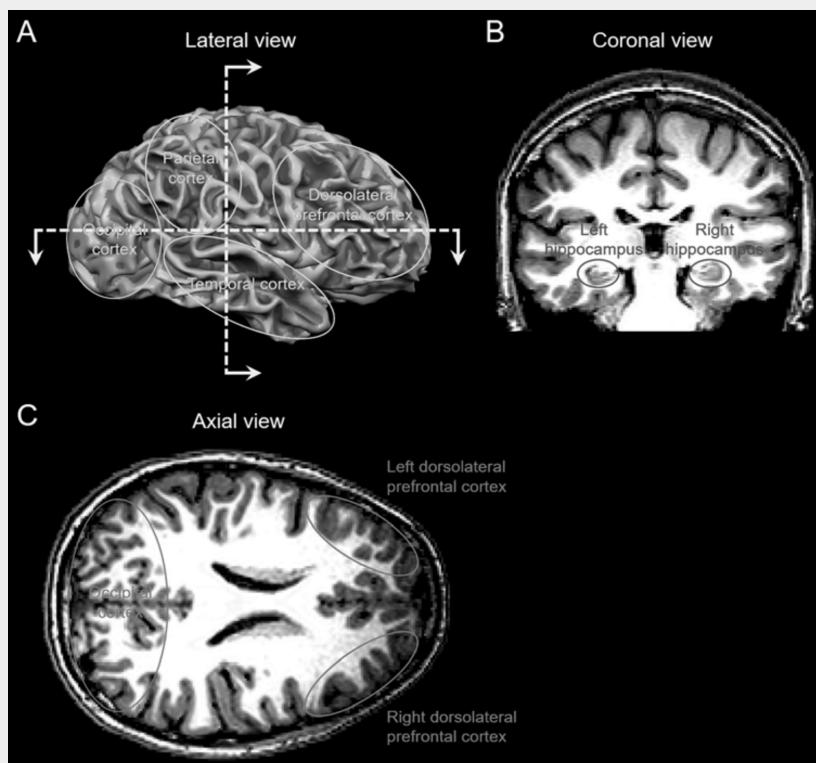


Figure 1.4: Brain regions associated with memory. Each region is shown within red ovals and labeled.

gyrus & sulcus

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

과학 기사에서 주로 뇌 활성화는 특정 gyrus와 sulcus에 국한되었음을

기억과 관련된 엽과 피질

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

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

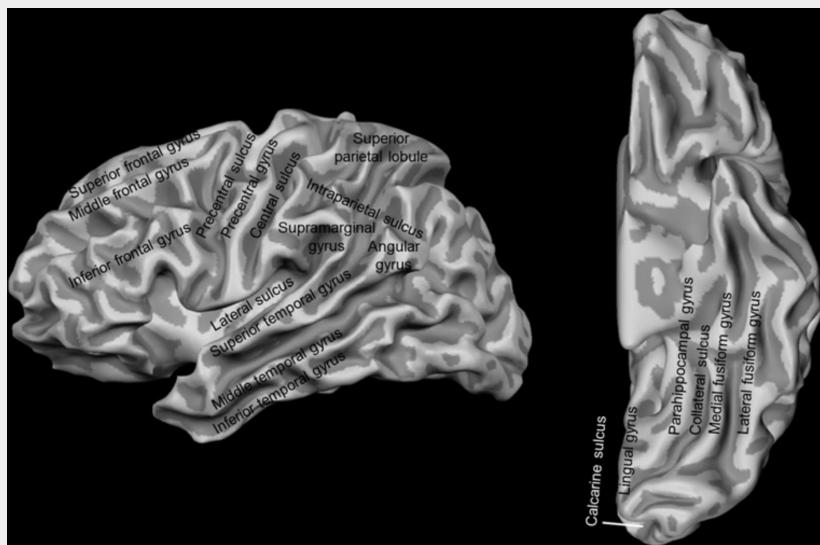


Figure 1.5: Gyri and sulci in brain regions of interest. Left, lateral view of the left hemisphere (occipital pole to the right). Right, inferior view of the left hemisphere (occipital pole at the bottom).

처음으로 시각 감각이 처리되는 영역은 V1으로 후두엽의 표면 중앙을 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). ⇒ 그럼에도 각 영역이 분명히 전문화 되어있음)

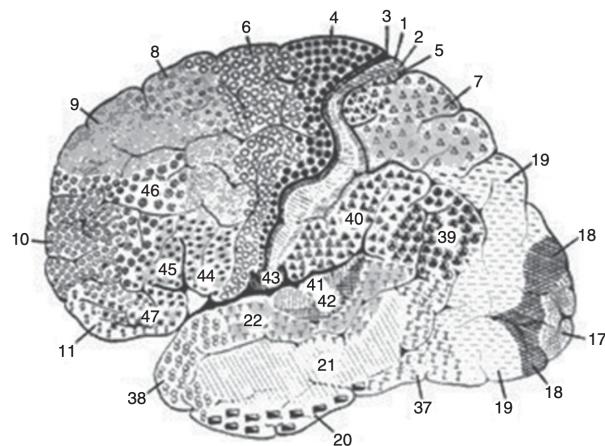


Figure 1.6: Brodmann map (1909). The left hemisphere with Brodmann areas labeled (lateral view, occipital pole to the right).

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

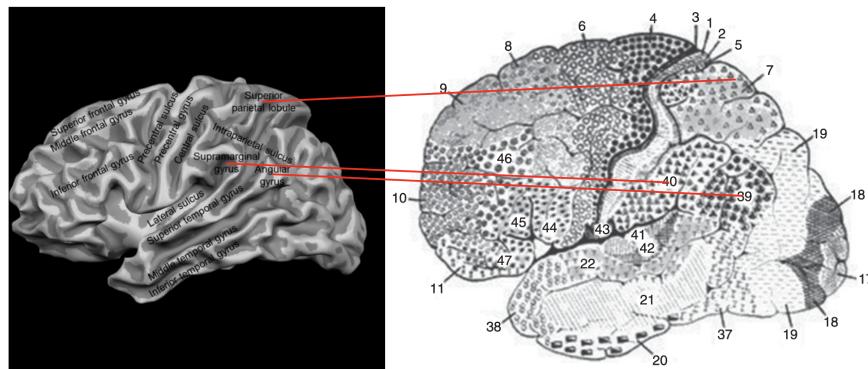


Figure 1.7: Brodmann map, gyri, and sulci

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 ⇒ 거의 없음(retrograde amnesia)
- 수술 후 기억 ⇒ 거의 없음(anterograde amnesia)
- 이전 사건 기억 ⇒ 존재
→ working memory 존재. e.g., 단어나 3자리 수를 몇분 동안 기억 가능
⇒ 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).

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

⁵비단, 두 용어 모두 책서 이후에 등장 아니함

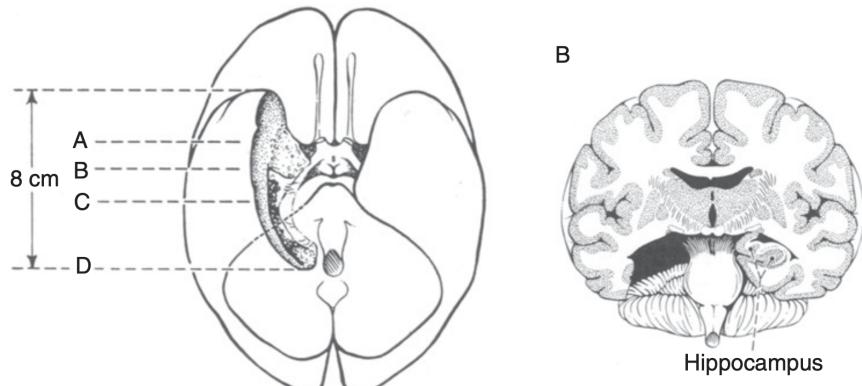


Figure 1.8: Depiction of medial temporal lobe resection in patient H. M.

1.5 Sensory Regions

sensory reactivation hypothesis 과거 기억 떠올리면 관련 지각과 관련한 뇌 영역이 활성화된다 는 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

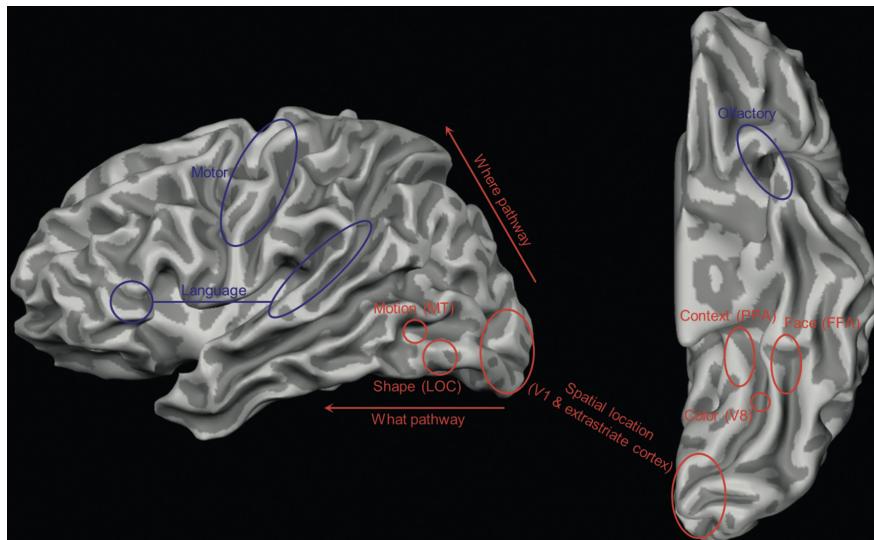


Figure 1.9: Sensory brain regions of interest.

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 것처럼 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 → ventral extrastriate cortex → ventral temporal cortex
- **where pathway:** V1 → dorsal extrastriate cortex → 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 → 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 ⇒ 기억이 지각보다 상세하지 아니하기 때문이겠구나!

1.6 Control Regions

control regions는 explicit memory 구성을 안내함.

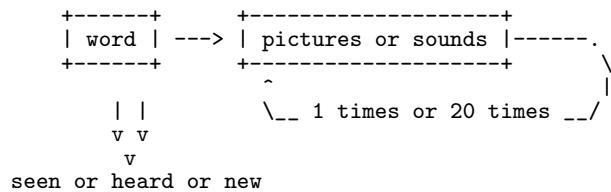
기억 통제와 관련된 2가지 영역: the dorsolateral prefrontal cortex and the parietal cortex.

- **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

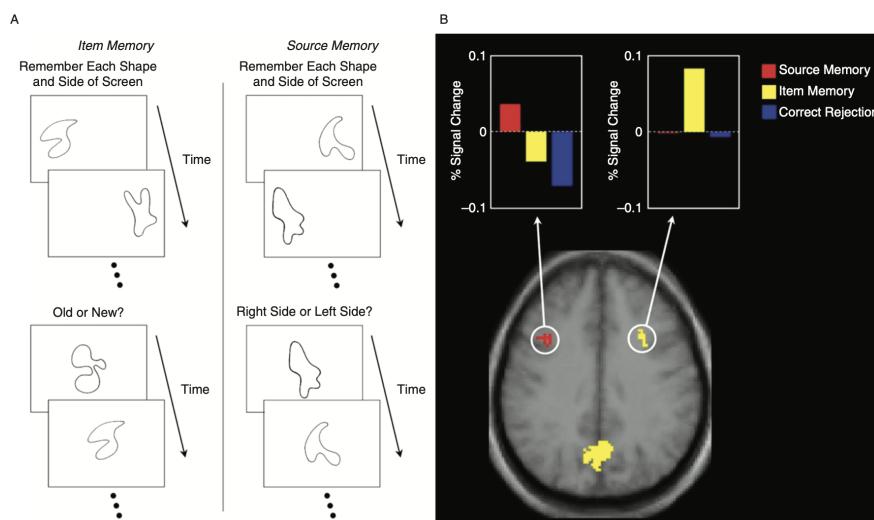


Figure 1.10: Item memory and source memory paradigm and fMRI results.

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. 미안해요ㅠㅠㅠㅠㅠ

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 기반하□
e.g., 사과를 본적 있음???????
- item memory item에서 문맥을 회상(recall)함
e.g., 그 사과가 무슨 색이었었지?

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 본 적 있음???????
- **context memory:**
item에서 문맥을 회상(recall)함
e.g., 그 사과가 무슨 색이었었지?

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 아니함.

episodic memory와 관련된 control regions:

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

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

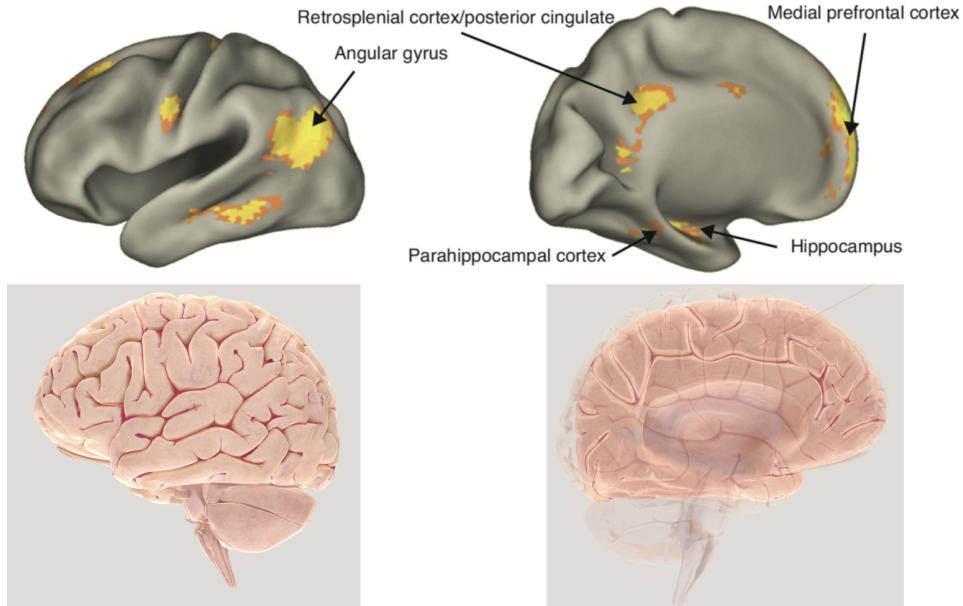


Figure 3.1: Regions of the brain associated with episodic memory. fMRI activity (in red/yellow) in the left hemisphere

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 공각/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

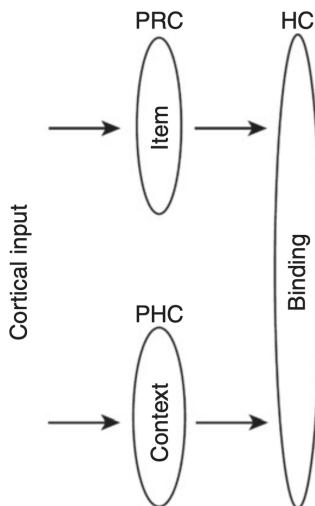


Figure 3.2: Model of medial temporal lobe sub-region function. The perirhinal cortex (PRC) processes item information, the parahippocampal cortex (PHC) processes context information, and the hippocampus (HC) binds item information and context information.

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 처리됩니다.

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.

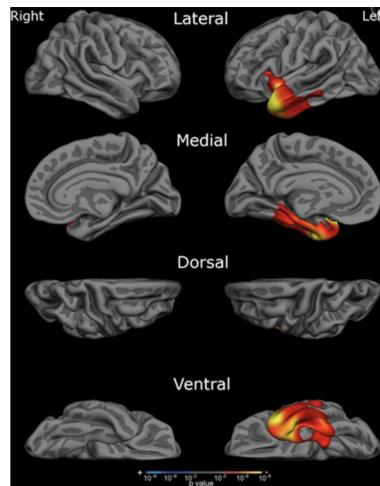


Figure 3.4: Regions of the brain associated with semantic memory. Cortical thinning in Alzheimer's patients (in red/yellow) associated with disruption in semantic memory.

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 아니할까?

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

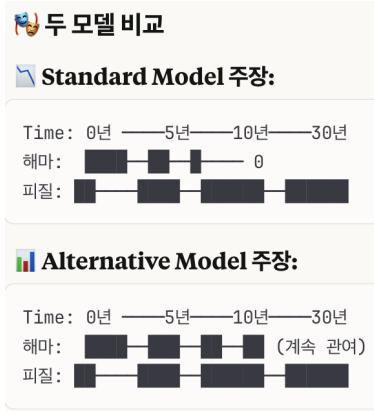


Figure 3.5: @claude

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

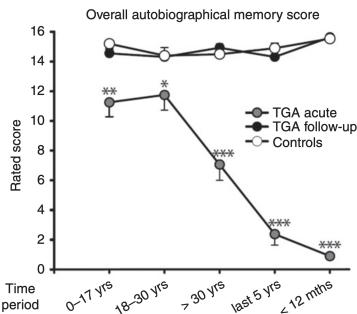


Figure 3.6: Autobiographical memory disruption for recent and remote events in patients with hippocampal lesions. Autobiographical memory score plotted as a function of the time period before the onset of transient global amnesia (TGA). TGA patient performance (in gray) and control performance, including 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 과정서 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.

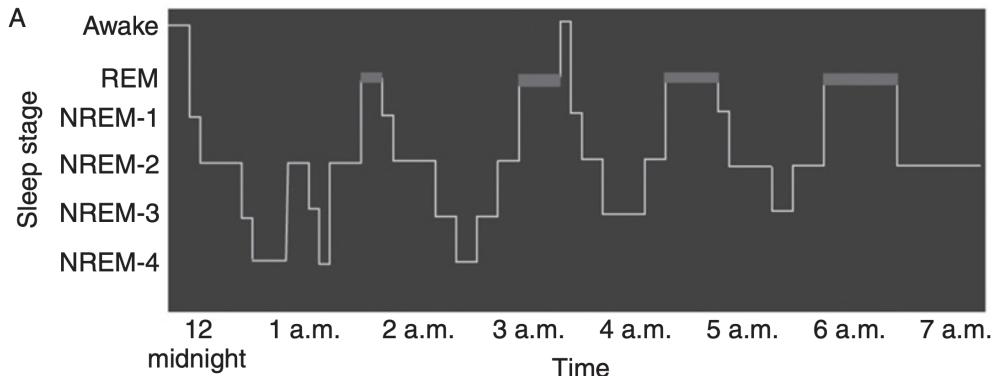


Figure 3.7: REM and non-REM (NREM) sleep stages as a function of time for a typical night of sleep (thick gray bars show REM sleep).

- **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 microstrucuter로 나뉘어져 있으며, 수축된 동공 상태서는 최근 기억을 재생 후 consolidation하며, 확장된 동공 상태서는 오래된 기억을 재생 후 consolidataion

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 ⇒ 중요! → 2가지 실험 제시하지만 생략.

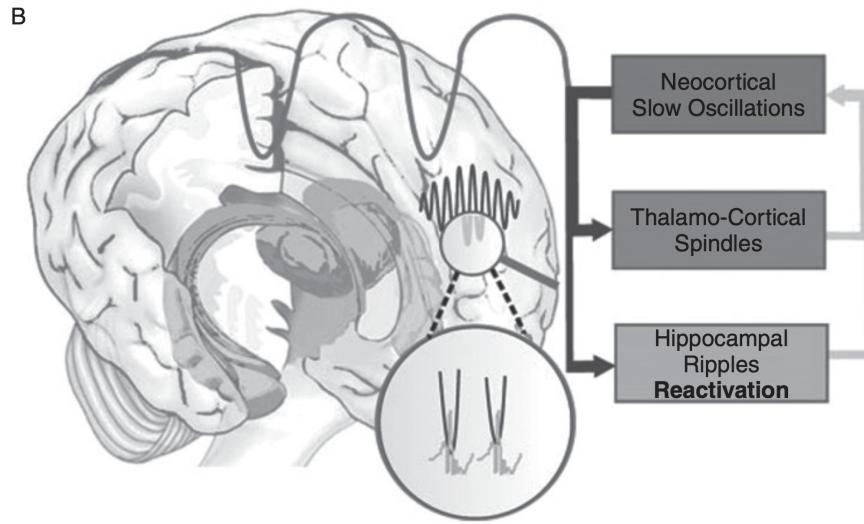


Figure 3.8: Schematic of the brain that includes the cortex (off white), the thalamus (dark gray structure near the center), and the hippocampus (light gray structure; occipital pole to the left) in addition to cortical slow waves, thalamic-cortical sleep spindles, and hippocampal sharp-wave ripples (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 phase에서 wolf와 ocean 각각 뇌가 어떻게 반응하였더라??

memory encoding와 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)

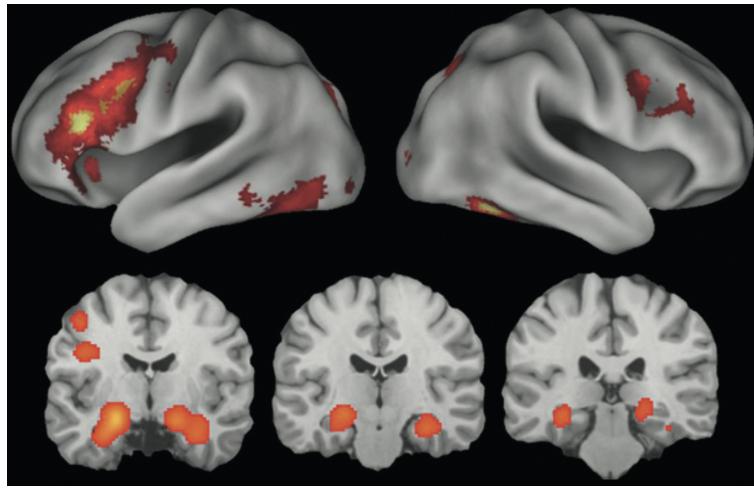


Figure 3.9: Regions of the brain associated with subsequent memory effects. fMRI activations associated with subsequent memory (in red/yellow; top, lateral views, occipital poles toward the center; bottom, coronal views, the left image is the most anterior and the right image is the most posterior). 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

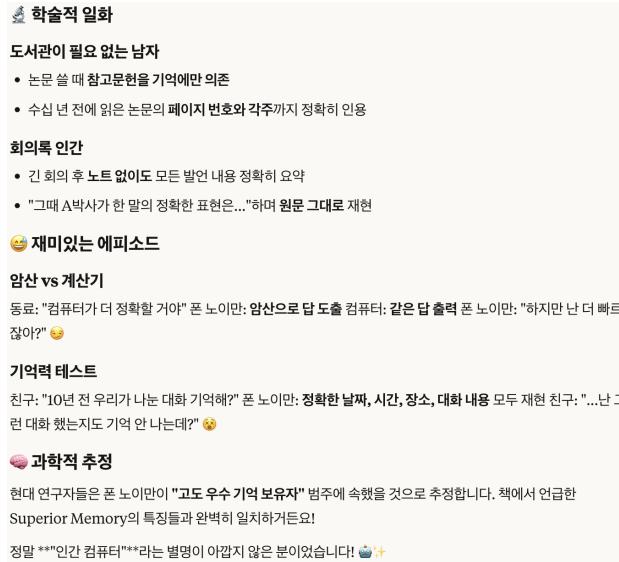


Figure 3.11: 폰 노이만(John von Neumann)의 기억력 관련 일화들은 정말 전설적입니다! @claude

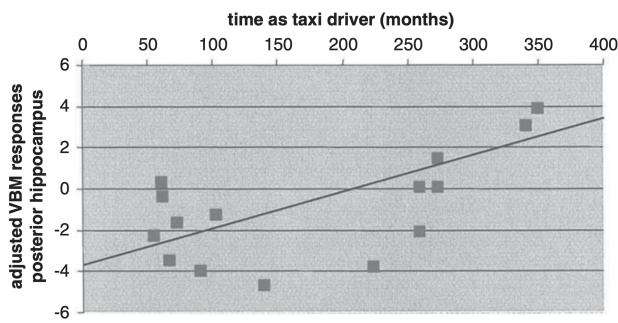


Figure 3.12: Change in the size of the posterior hippocampus as a function of time as a London taxi driver. The size of the posterior hippocampus (shown on the y-axis) was measured using voxel-based morphology (VBM).

? ↗

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 → 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?

THEME 4

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 갑

“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 items 서
 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?????

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

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(촉두엽) → 통합된 객체 인식
 - 비유: 피즐 조각들을 하나의 그림으로 만드는 "접착제" 🎨

실제 작동 원리

기억 형성 시:

Theta: 해마 ↔ 피질 정보 교환
 Alpha: 방해 영역들 억제
 Gamma: 분산된 정보들 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 → parietal-occipital regions

INDEX

- anterior temporal lobe, 22
associative memory, 9
- Brodmann area, 12
- context memory, 9
Control Regions, 15
cortex, 10
- 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
- implicit memory, 6
item memory, 9
- knowing, 9
- lateral occipital complex, 15
left dorsolateral prefrontal cortex, 22
left visual field, 15
- LOC, 15
long-term memory, 7
- memory consolidation, 23
MT, 15
- non-REM sleep, 25
- old-new recognition, 7
- parahippocampal cortex, 20
parahippocampal place area, 15
patient H. M., 13
perirhinal cortex, 21
PPA, 15
- recollection, 9
REM sleep, 25
remembering, 9
repetition Priming, 7
right visual field, 15
- semantic memory, 8, 22
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

- thalamic-cortical sleep spindles, 25
top-down interaction, 15
V1, 12
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