

# 생물철학 4강

## 가소성

2024년 1월 9일  
최종덕([philonatu.com](http://philonatu.com))

유럽인문아카데미

# 가소성의 가능성

- 신경생물학의 철학: 시냅스 존재론의 새로운 접근방식
- 발생생물학의 철학: 후성유전학과 후천적 자아형성

- 가소성이라는 용어 번역


plasticity 가소성 – 비가역적 irreversible

elasticity 탄력성, 유연성 –가역적 reversible

\*\*비가역적 특성이 중요하므로 "가소성" 번역을 일단 수용하기로 함.



## 유전형genotype / 표현형phenotype

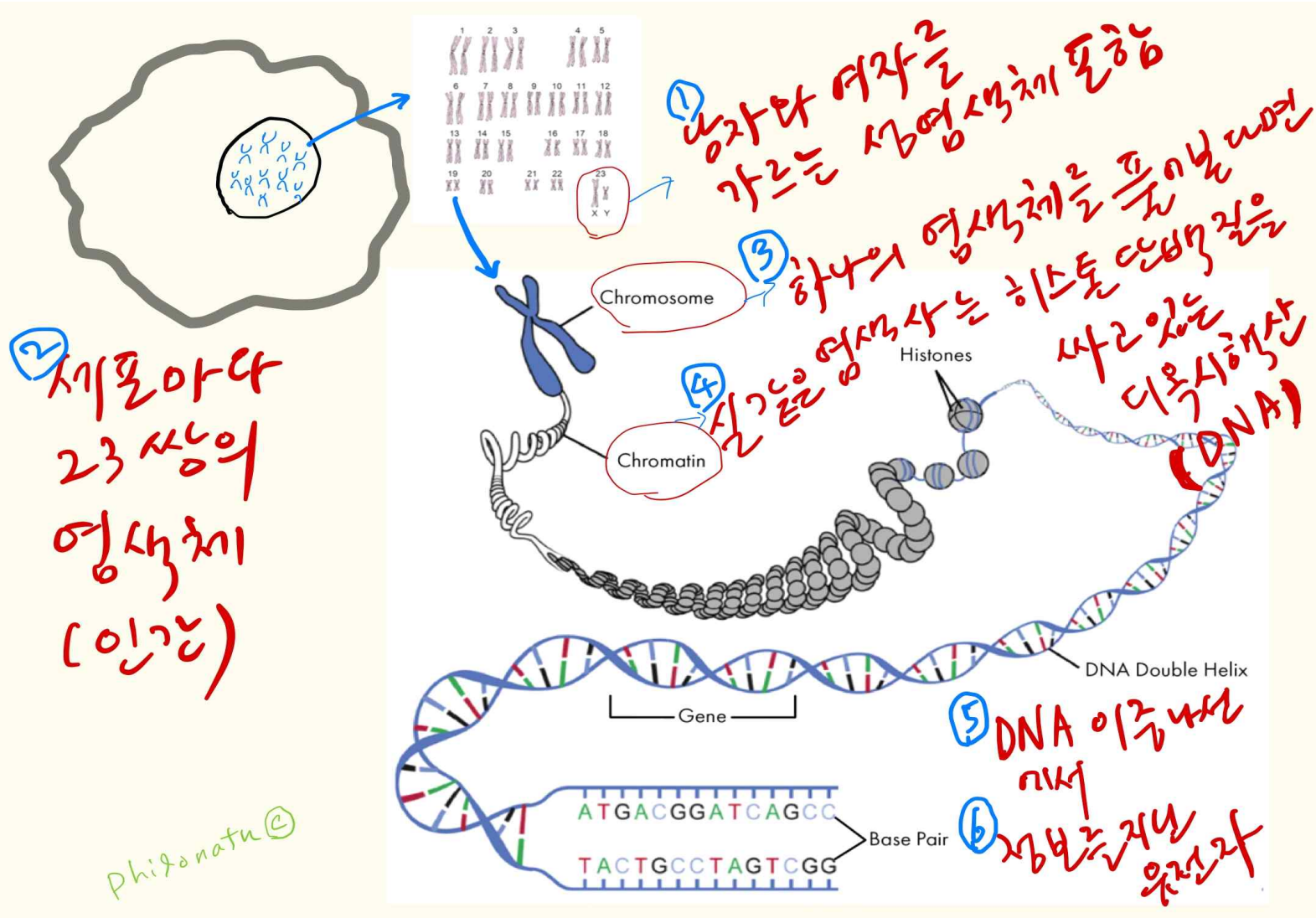
- ① 유전형은 유전자 정보이며, 표현형은 유전자의 조합으로 형성된 외형을 말한다.
- ② 유전형이 같아도 표현형이 다를 수 있다. (환경에 영향을 받는다는 뜻) 그 역도 성립한다.
- ③ “표현형을 지시하는 1:1 대응방식의 유전형은 없다.”  “유전형마다 그 유전자에 1:1 대응하는 고유한 표현형은 없다.”

# 후성유전학 (Epigenetics)

- 유전자의 발현은 DNA 메틸화 및 히스톤 변형 등과 같은 화학적 가역반응에 의해 조절된다
- DNA 염기서열의 변화 없이 크로마틴의 구조적 변화, 즉 '크로마틴 리모델링'에 영향을 주어 유전자 발현이 조절되는 기전에 대한 연구 분야를 '후성유전학'(Epigenetics)이라고 한다.

# What is epigenetics?

- **Epigenetics:**
  - *epi* (Gk) upon
  - *genesis* (Gk) generation, birth, origin
    - *genes* (Gk) born
- ‘the interaction of genes with their environment, which bring the phenotype into being’  
(Waddington, Endeavor 1:18, 1942)
- ‘heritable changes in gene expression not attributable to nucleotide sequence variation’  
(Murrell et al. Hum Mol Genet 14:R3, 2005)



② 세포마다  
23 쌍의  
염색체  
(인간)

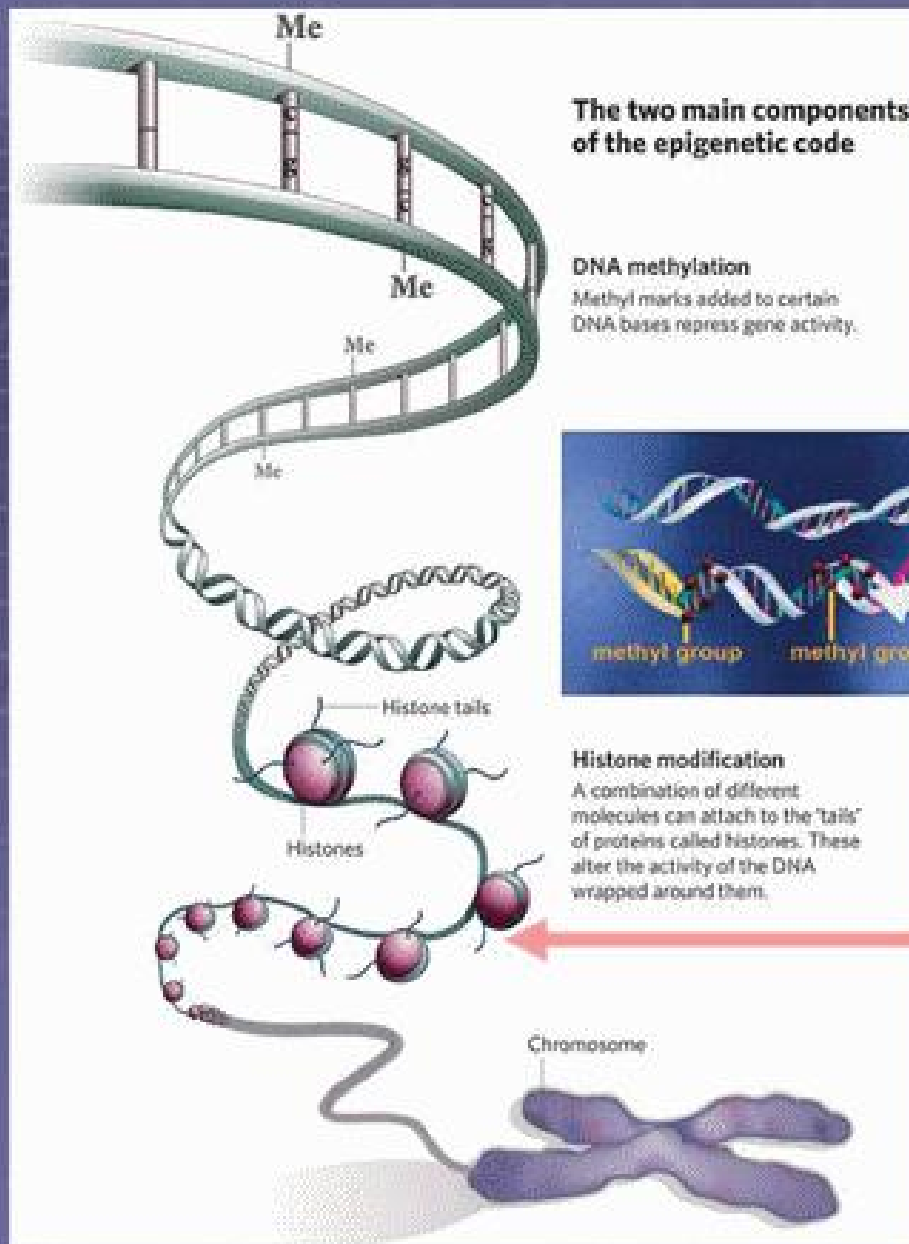
① 인자 2 여자를  
가르는 23염색체 쌍

③ 하나의 염색체를 풀면  
하나의 염색체는 히스톤 단백질로  
싸여있는  
디옥시리보산  
(DNA)

⑤ DNA 이중나선  
구조

⑥ 유전정보를  
가장하는  
유전자

Philonatu



## TWO WAYS TO ACTIVATE OR SILENCE GENES

### 1. Methylation

### 2. Small molecules/ histones



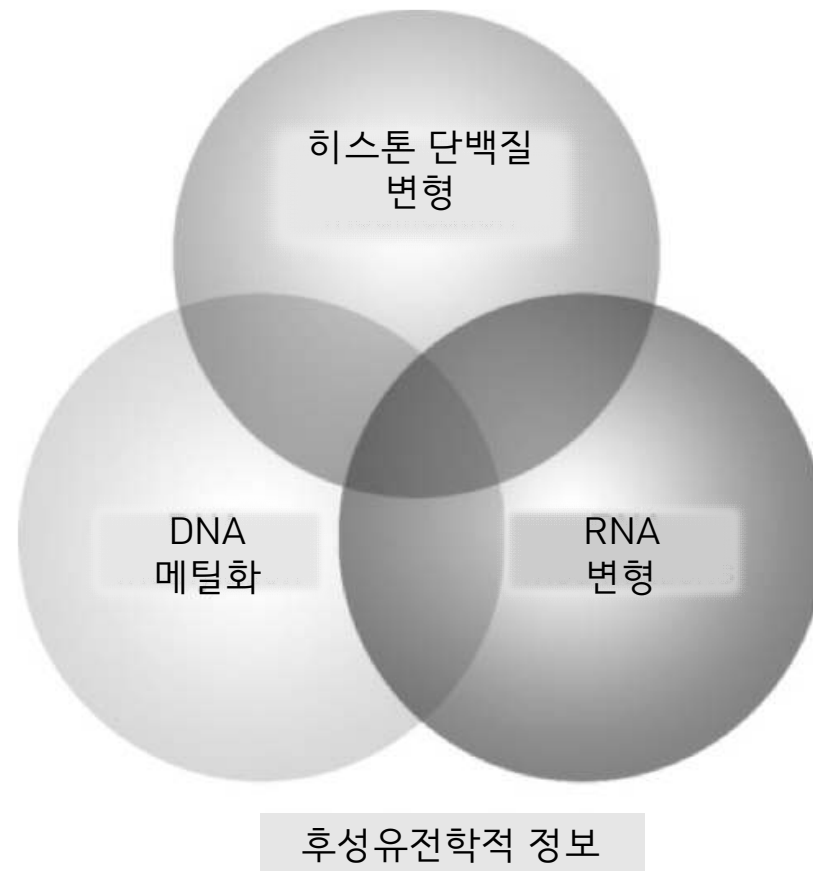
**ACTIVATED GENE**

**SILENCED GENE**

(Folic acid, Vitamin B12, Choline)

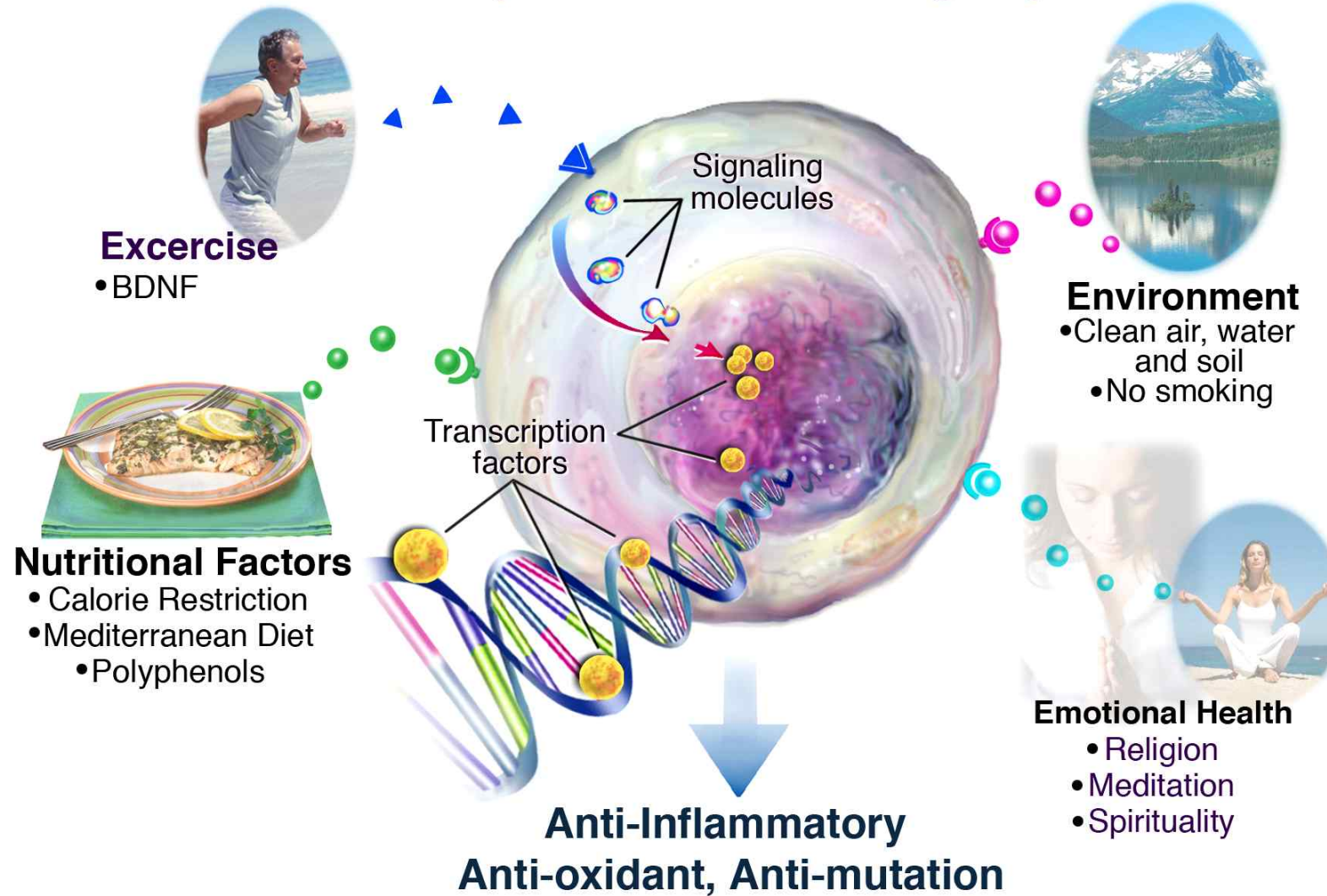
**SILENCE GENES**

Resveratrol, quercetin, curcumin, other small molecules (histone deacetylase inhibitors)



[되돌아가  
기](#)

# Epigenetics and Gene Activation for Improved Health and Longevity



후성유전학과 라마르크 획득형질론을  
연결하는 것은 오류이며,

주의!

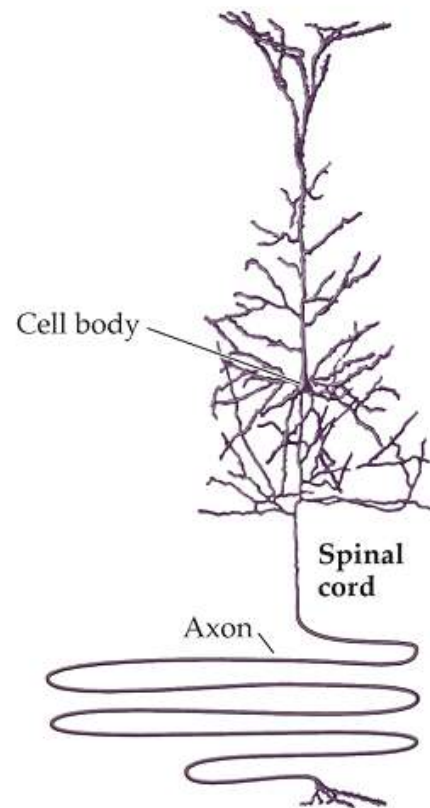
후성유전학을 형이상학적 자유의지론으로  
직접 해석하는 것도 무리입니다.

[참고로 읽을꺼리1](#)

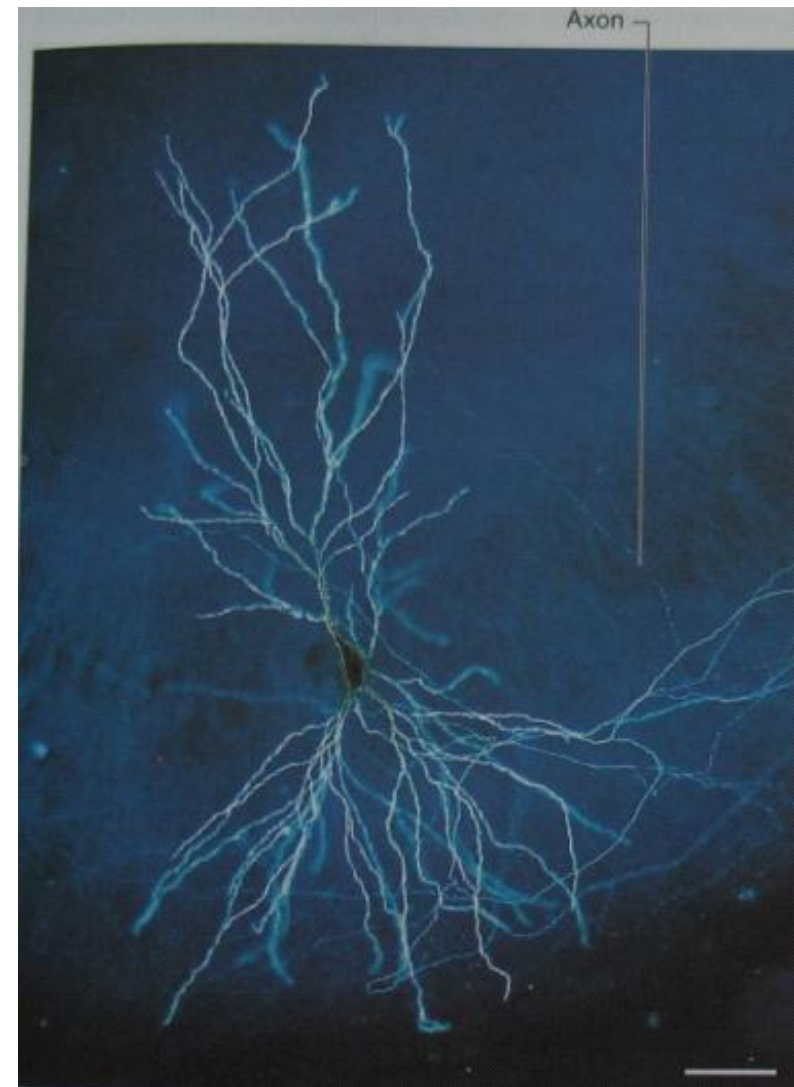
참고할 국내 논문: 손행구/조은희 2017, "자유의지에 대한 과학적 증명, 그 의미와 한계 -후성유전학을 둘러싼 철학적 논의를 중심으로."

대동철학 81권(2017);81-102

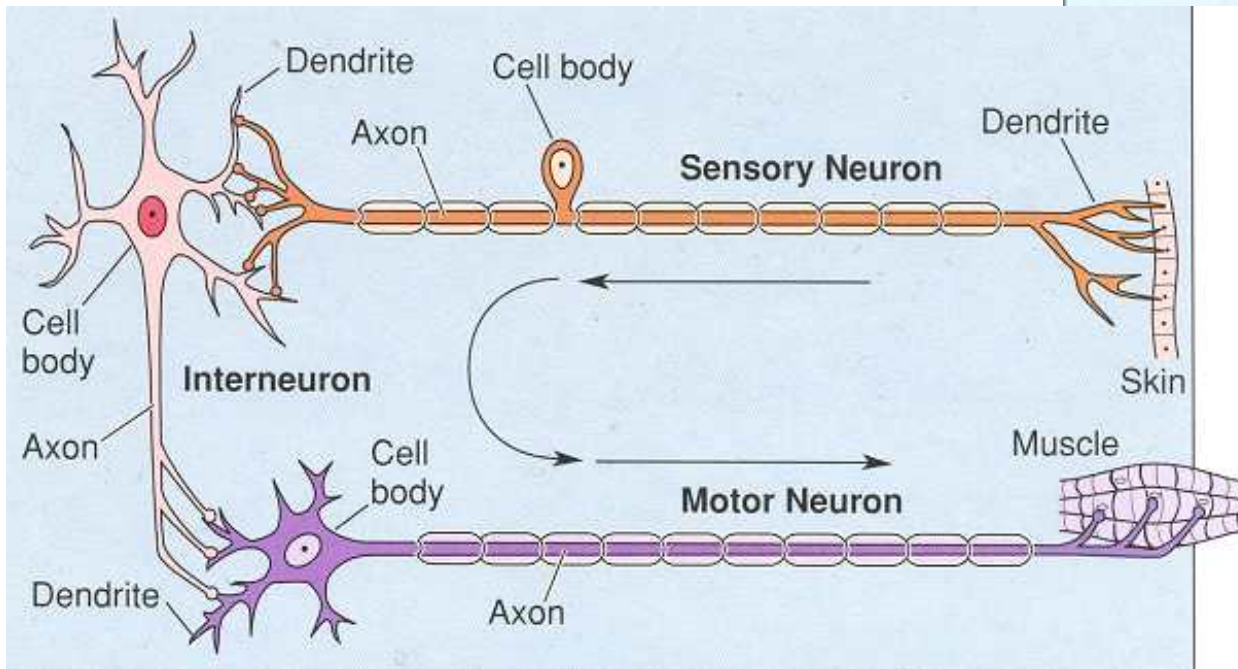
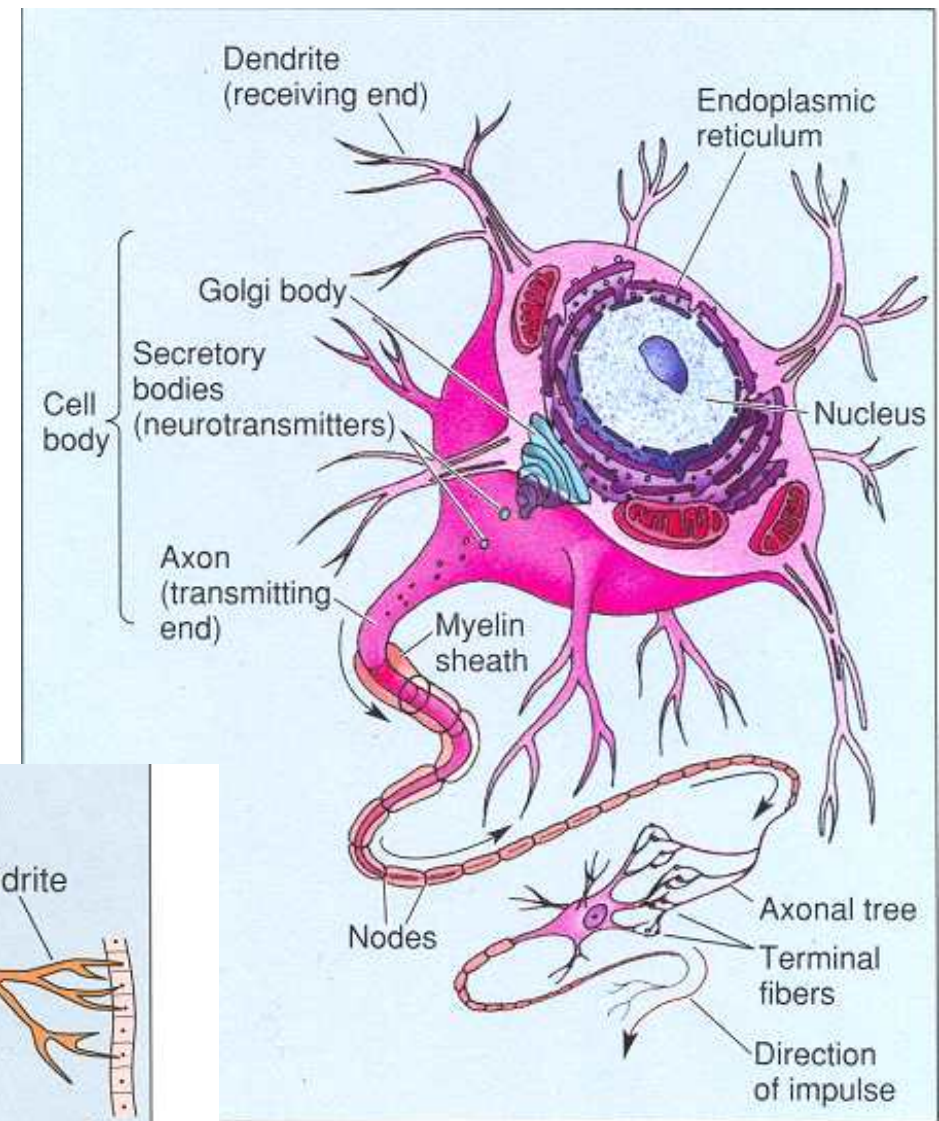
# 신경생물학의 철학: 시냅스 존재론

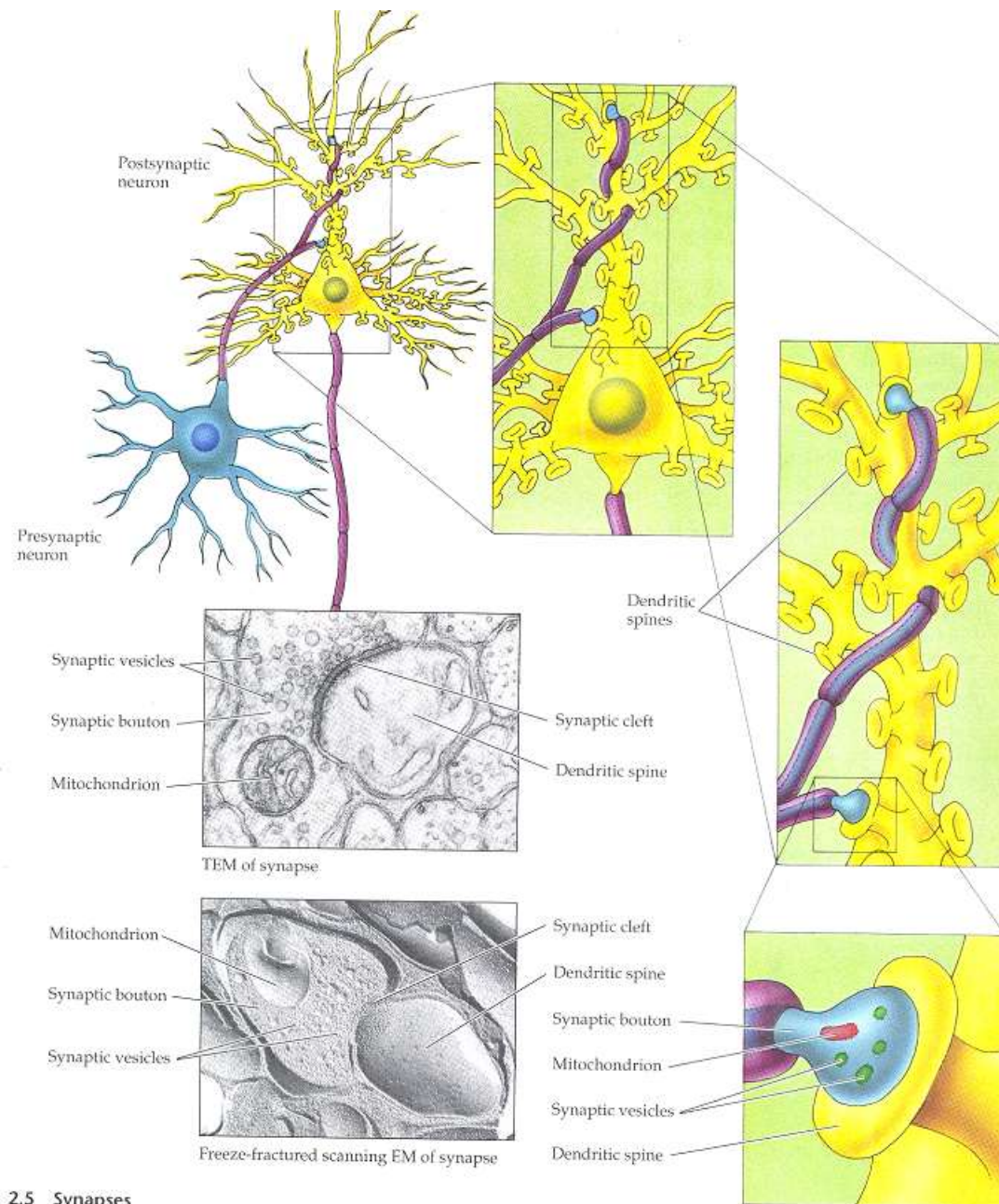


LIFE: THE SCIENCE OF BIOLOGY, Seventh Edition, Figure 44.2 Neurons (Part 3)  
© 2004 Sinauer Associates, Inc. and W. H. Freeman & Co.



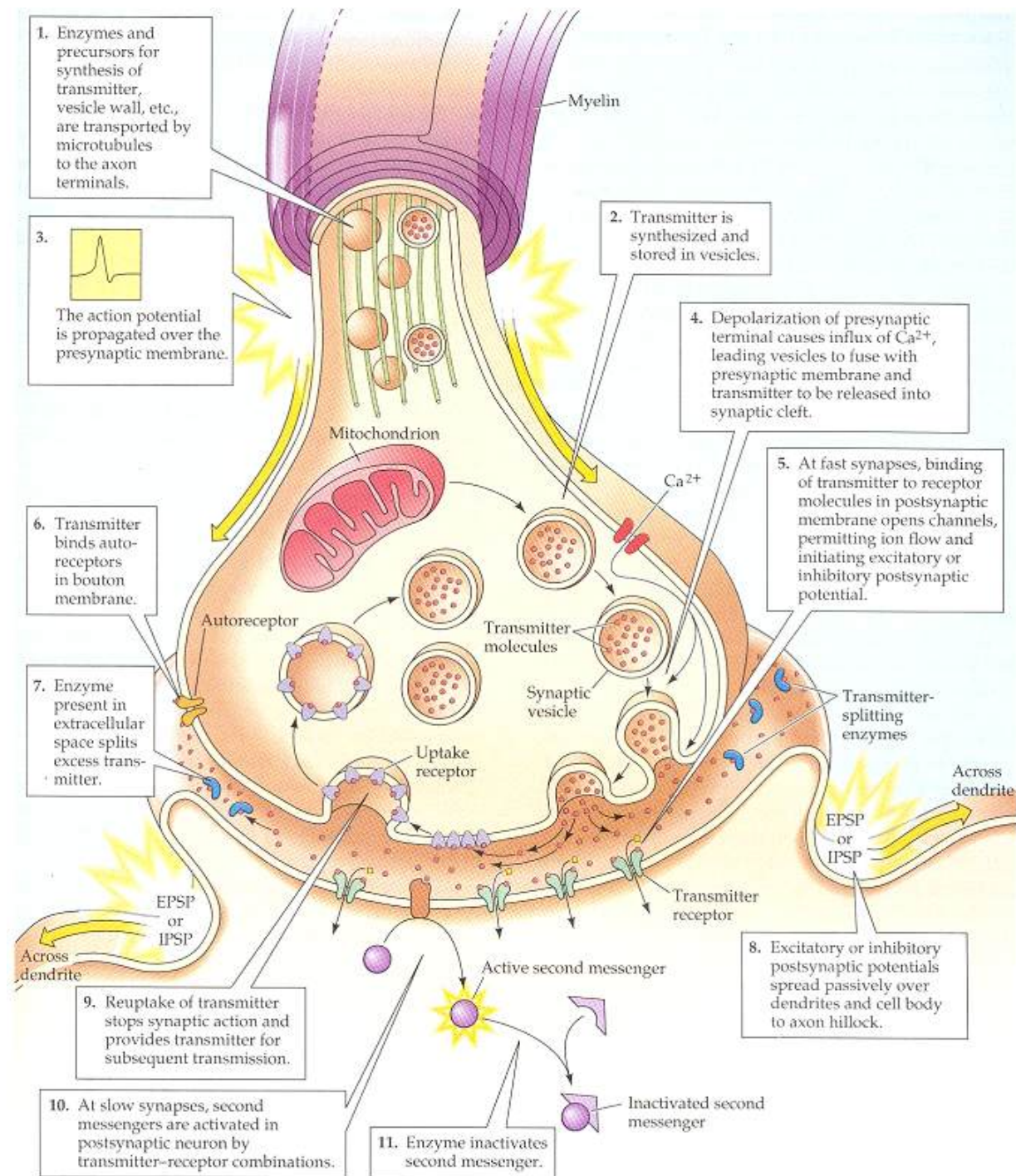
세포 안  $K^+$  이온, 세포 밖  $Na^+$  이온으로 인해 신경세포 정보전달에 필요한 전기  $-70mV$ (밀리볼트)가 형성된다.





## 2.5 Synapses

Axons may form a synapse upon the cell body or dendrites of a neuron. On dendrites, synapses may form upon dendritic spines or upon the shaft of a dendrite. Electron micrographs (*insets*) reveal the fine structure of synapses. Micrographs from Peters, Palay, and Webster, 1991



## 현재 알려진 신경전달물질(neurotransmitter) 100여 종

아세틸콜린: 아미노산과 유사한 화학물질

모노아민: 아미노산의 변화, 아민기(**NH<sub>2</sub>**) 포함

인돌아민: 세로토닌

카테콜아민: 도파민, 노르에피네프린, 에피네프린

아미노산: 글루타민산, **GABA**, 글라이신, 아스파르트산

펩티드: 엔돌핀, **P**물질, 뉴로펩티드 등 다수

퓨린: 아데노신과 유도물질들 아데노신, **ATP** 등

기체- 일산화질소(**NO**)

글루타메이트: AMPA 수용체로 들어온 Na<sup>+</sup> 자극으로 NVDA 수용체 Mg<sup>++</sup>로 닫혀진 채널을 열어 칼슘이온을 받아들이면서 거꾸로 AMPA 채널을 더 작동시키는 가소성을 일으켜 장기기억을 시작한다

예를 들어 신경세포와 근육세포 사이에 전달되는 신경전달물질의 하나인 아세틸콜린 *acetylcholine*의 사례를 보자.

- 자가면역질환: 전시냅스에서 시냅스틈으로 나온 AchR 는 근육신경의 후시냅스 수용기에 결합하여 채널을 열어 소듐이온을 후시냅스 안으로 진입시켜야 하는데, 후시냅스에 자가항체가 형성되어 AchR을 수용기에 결합을 방해하여 채널이 열리지 않는다. 이렇게 되면 근육 운동이 불안정하거나 정지된다. 이런 질병이 중증 근무력증이다. 일종의 자가면역질환이다.
- 보톡스 *botulinus toxin*: 전시냅스 물질 주머니에서 터져나온 AchR이 틈으로 나가게 되는데, 주머니를 터트리는 데에 필요한 단백질 SNAP\_25의 결합을 유도하는 것이 보톡스이다. 이렇게 되면 주머니 속 AchR이 밖으로 터져나오지 않는다. 결국 채널로 이동이 불가능한 상태이며 이는 강한 근육마비 증상을 가져온다.

예를 들어 신경세포와 근육세포 사이에 전달되는 신경전달물질의 하나인 아세틸콜린 *acetylcholine*의 사례를 보자.

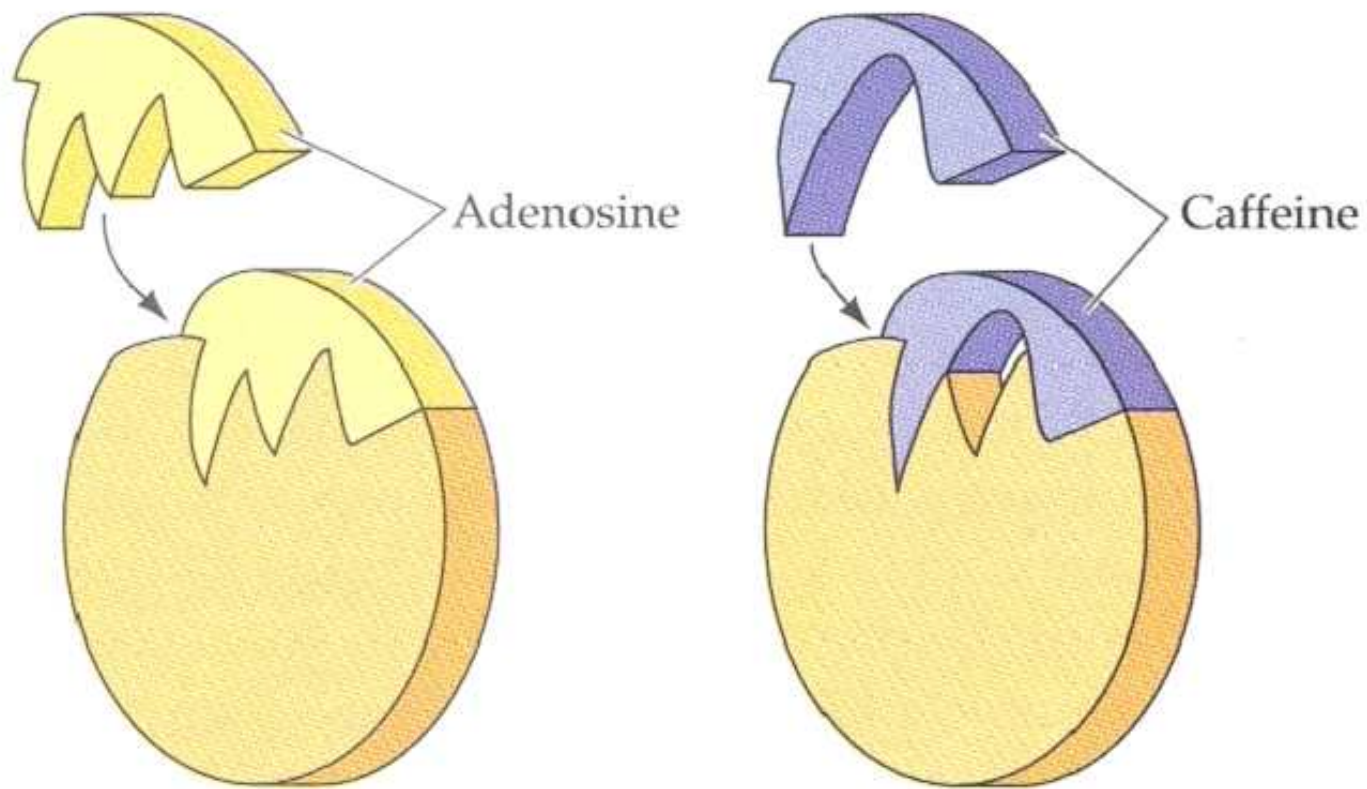
- 항우울제: 전시냅스에서 시냅스틈으로 나온 AchR 는 어느 정도의 소듐이온을 탈분극시키면서 그 구실을 다하고 전시냅스로 되돌아간다. (분해를 통한 재흡수) 만약 재흡수를 저해하는 물질이 있다면 소듐 탈분극을 계속 연장하여 활성화시킬 것이다. 이는 흥분상태를 유지하는 것과 같다. 이런 효과를 주는 약물이 바로 항우울제이다.
- 마약, 암페타민: AchR 을 칼슘이온 도움없이 강제로 시냅스틈으로 내보내어 강제 흥분상태를 유도한다.

## 자극성 약물

- 도파민: 흥분감, 각성, 기분의 상승, 피로감소, 운동활동의 증가,
- D2-D4 : 도파민 수용체의 직접, 간접 활성화
- 암페타민 : 흥분, 기민함, 기분의 고조, 피로 감소,
- 코카인 : 흥분, 기민함, 기분의 고조, 피로 감소, 도파민, 노르에피네프린, 세로토닌 재흡수 차단, negative feedback(시냅스틈의 잉여도파민이 autoreceptor 자극, 우울한 상태 유도)
- 모르핀 : 아편계 약물- 모르핀, 헤로인 : 엔돌핀 시냅스 자극, 간접적으로 도파민 분비 증가(엔돌핀은 GABA시냅스 억제작용이 있고 GABA는 도파민 억제능력 - 내인성 아편)
- 대마초- 신경전달물질 아난다마이드와 유사한 구조( $\Delta^9$ -THC) 포함      세로토닌 작용 억제
- 환각유발 물질- LSD, 메스칼린(mescaline) 세로토닌 시냅스 수용체에 결합하여 지각을 왜곡
- 카페인 : 심박률 증가, 뇌로 가는 혈관 수축(혈류 감소)      신경전달물질 아데노신 효과 방해(->글루타민산, 도파민 증가)
- 알코올- Na의 유입 방해, 세로토닌 활동 감소      GABA 수용체 활동 촉진(억제효과 증가)  
복수의 유전자로 인해 중독성이 나타남
- 에틸알코올---> 아세트알데히드----> 아세트산      아세트알데히드탈수소효소      간경화, 기관 손상 ; 조기 발병의 유전성(\*\* 파킨슨병, 알츠하이머 치매, 헌팅턴병 등)
- 니코틴- 수상돌기에 니코틴 수용체(니코틴성 아세틸콜린 수용체 자극)를 갖고 있는 뉴런은 다수가 축삭말단에서 도파민을 방출



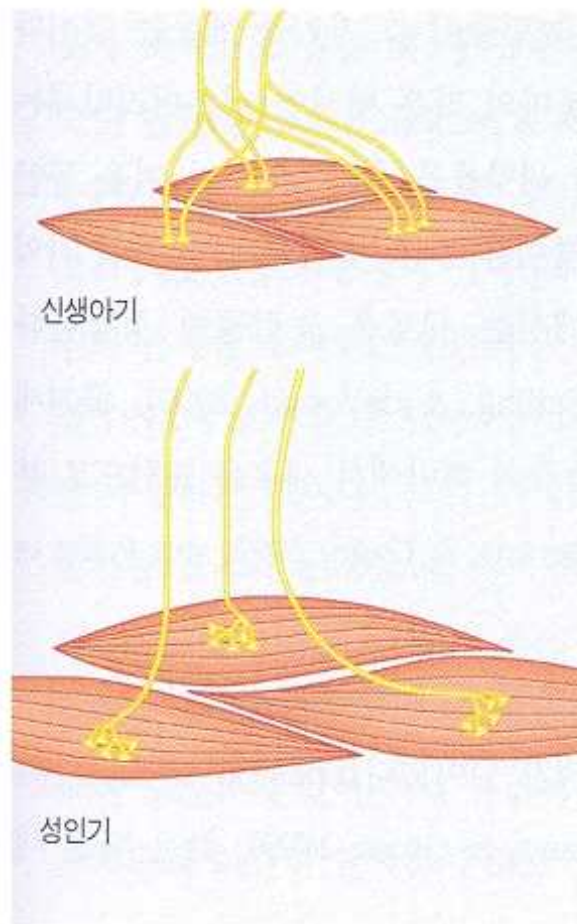
**6.5 The Source of Opium and Morphine**  
The opium poppy flower and pod.



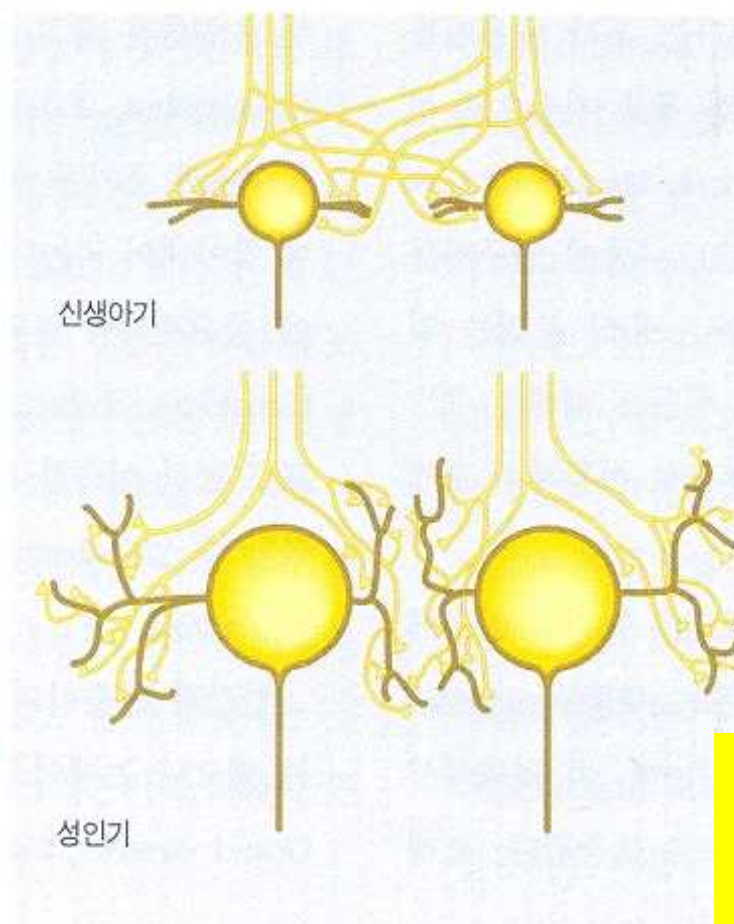
## 6.6 How Caffeine Stimulates

Caffeine stimulates neurons by competing with adenosine for presynaptic sites.

-----> 글루탐산, 도파민 증가



(a) 근섬유

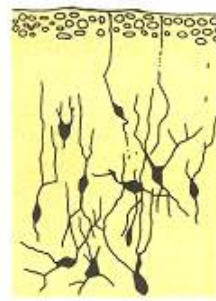


(b) 교감신경절 세포

axon  
軸索은  
축색이  
아니라  
축삭입니다.

### 그림 5.9 시냅스의 제거를 통한 발달

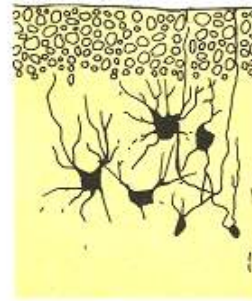
(a) 발달 초기에 개개의 근섬유는 여러 운동뉴런의 축색 가지들로부터 시냅스를 받는다. 각 근섬유는 점차로 한 축색과의 시냅스는 강화시키고 다른 축색들과의 시냅스는 거부한다. (그러나 하나의 축색은 많은 근섬유들과 시냅스를 형성할 수 있다.) (b) 발달 초기에 교감신경계의 신경절에 있는 뉴런들은 많은 축색으로부터 시냅스를 받는다. 나중에 각 뉴런은 어떤 뉴런들로부터 입력되는 축색은 제거하고 다른 뉴런들로부터 들어오는 축색은 받아들인다. 비록 한 뉴런 전체로 보면 많은 뉴런들로부터 축색을 받아들이지만, 일반적으로 각각의 수상돌기는 오직 하나의 축색과만 지속적인 시냅스를 형성한다. 그렇지만 그 축색은 아주 많은 가지를 형성하여 그 수상돌기에 아주 많은 시냅스를 형성할 수도 있다. 출처 : Purves & Lichtman, 1980



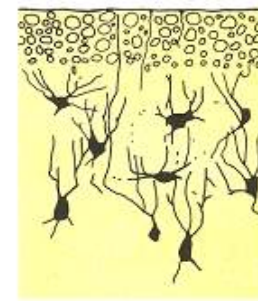
12<sup>th</sup> fetal week



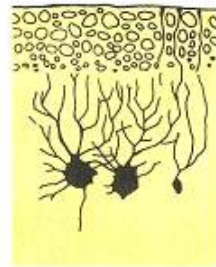
15 weeks



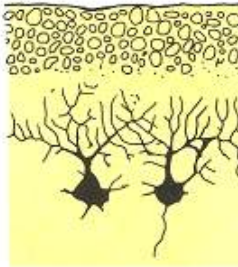
18 weeks



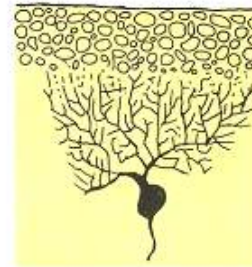
22 weeks



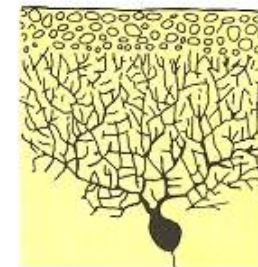
28 weeks



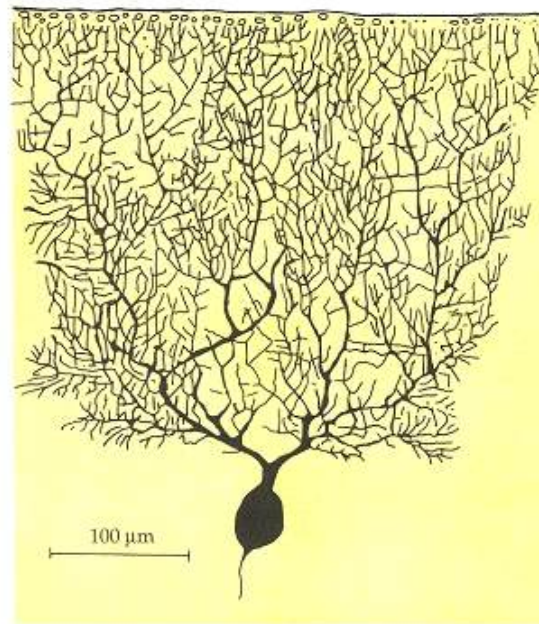
32 weeks



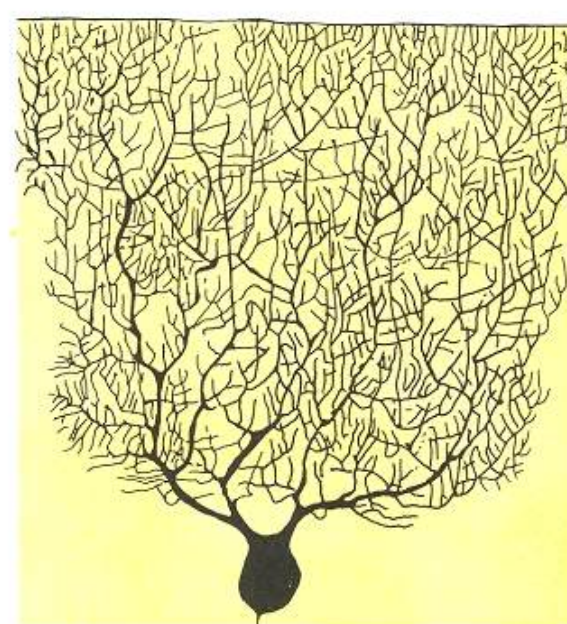
35 weeks



Birth



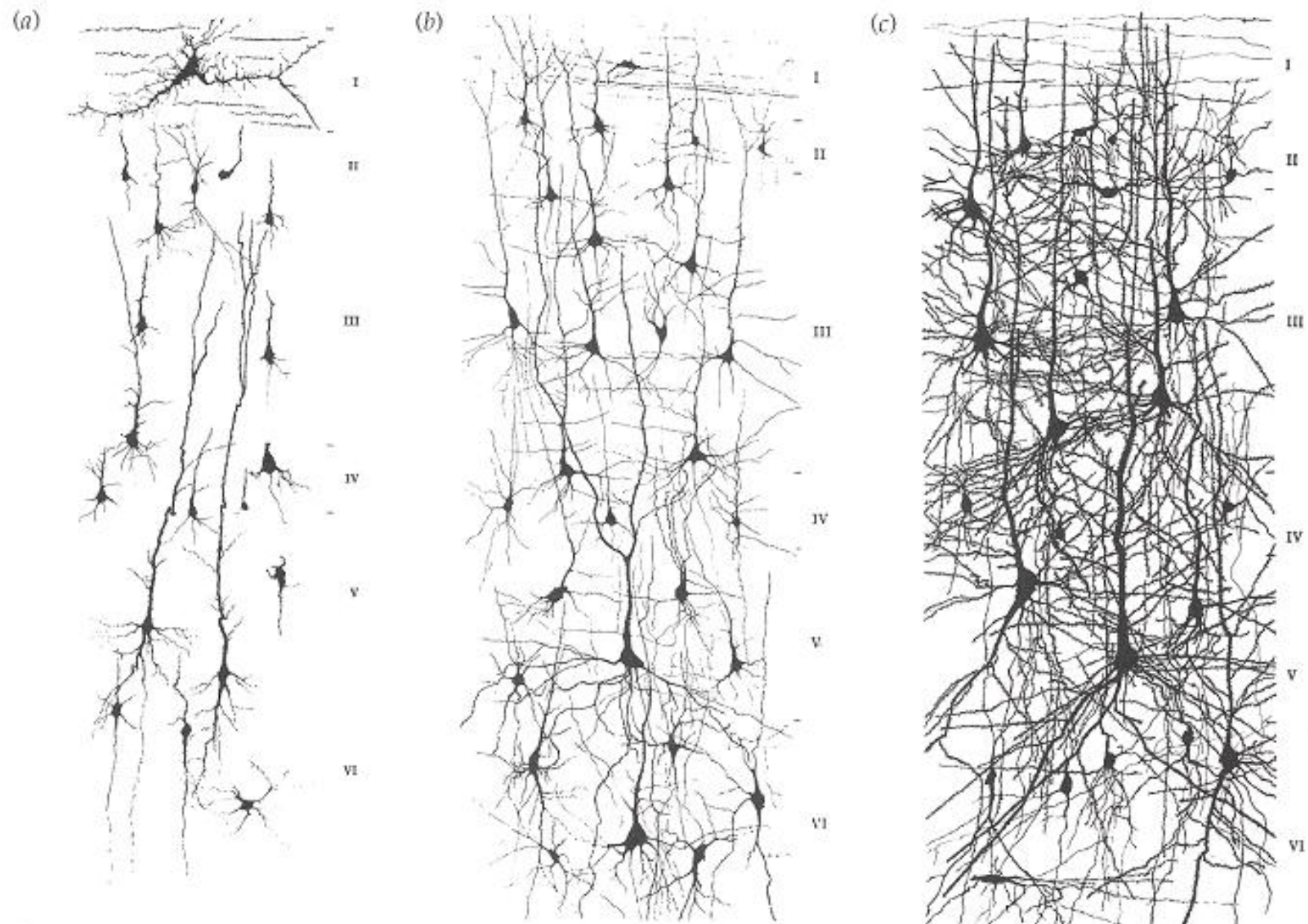
11 months postnatal



Adult

#### 4.9 Development of Purkinje Cells in the Human Cerebellum

After Zecevic and Rakic, 1976.



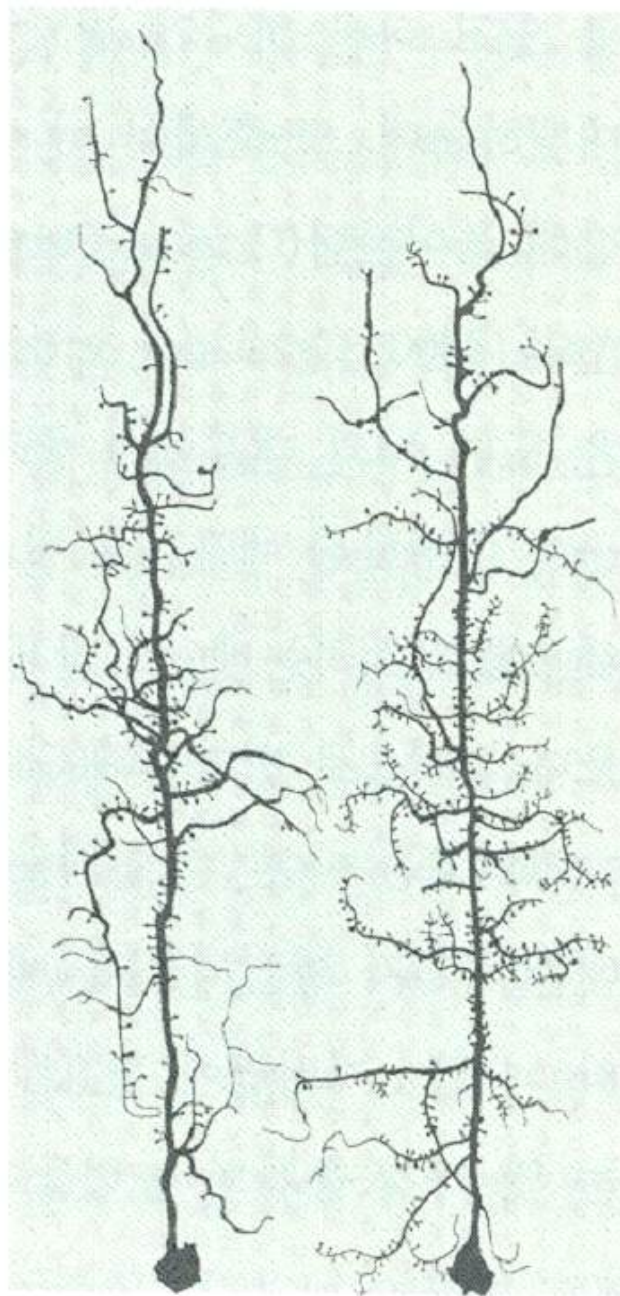
#### 4.16 Cerebral Cortex Tissue in Early Development of Humans

(a) In a newborn. (b) Three months after birth. (c) Two years old. Numerals refer to the six cortical layers. From Conel, 1939, 1941, 1959.

출생 이후 대뇌피질의 발달

# 시냅스 연결고리의 결합과 분리

- 화학적 친화력
- 경험과 학습의 결과



(a)

(b)

Richard Coss

### 그림 5.10 뉴런의 가지 뻗기에 미치는 자극적인 환경의 효과

(a) 격리되어 길러진 주엘 시클리드 (jewel fish)라는 물고기의 뉴런은 가지가 더 적다. (b) 다른 물고기들과 함께 길러진 주엘 시클리드의 뉴런은 더 많은 가지를 갖고 있다.

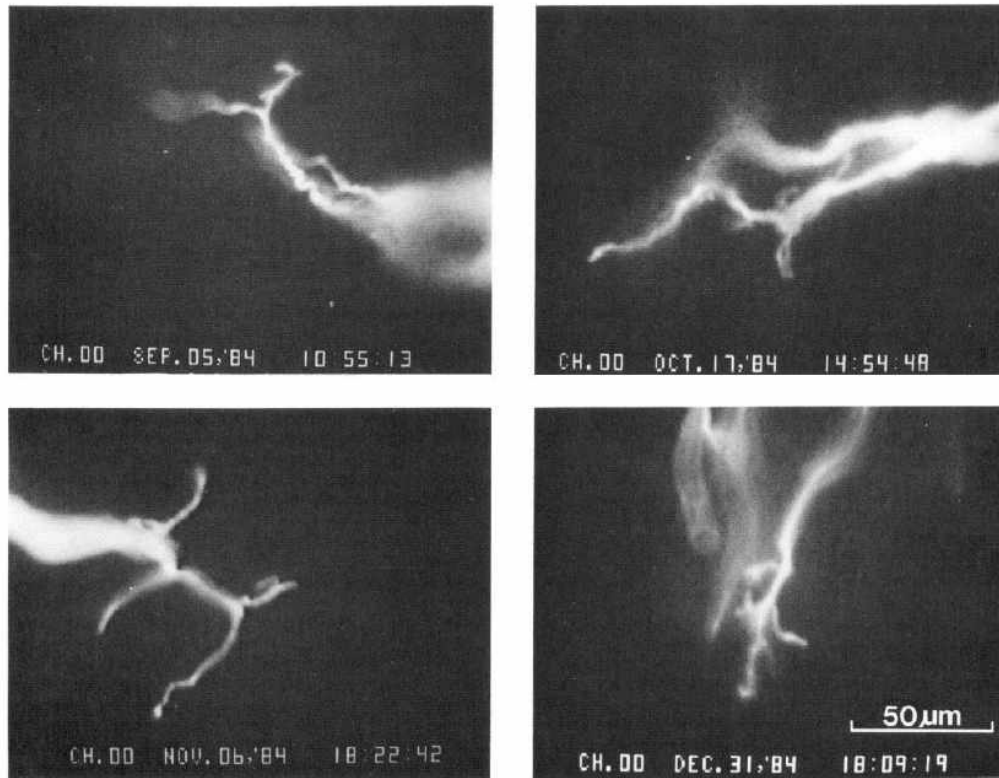


Figure 5. Low-light-level photomicrographs taken from the video monitor show single optical sections through a portion of the dendritic arbor of four different superior cervical ganglion cells. The pictures were taken about 10 min after injection of the neuronal cell body with 5(6) carboxyfluorescein. These examples were chosen to show that the terminal portions of the dendritic arbors appear to be filled completely; delicate terminal branches on the order of  $1\ \mu\text{m}$  in diameter are easily seen. The dendritic arbors observed in this way were not different in appearance from mouse superior cervical ganglion cells visualized *in vitro* after filling with HRP (Purves and Lichtman, 1985b).

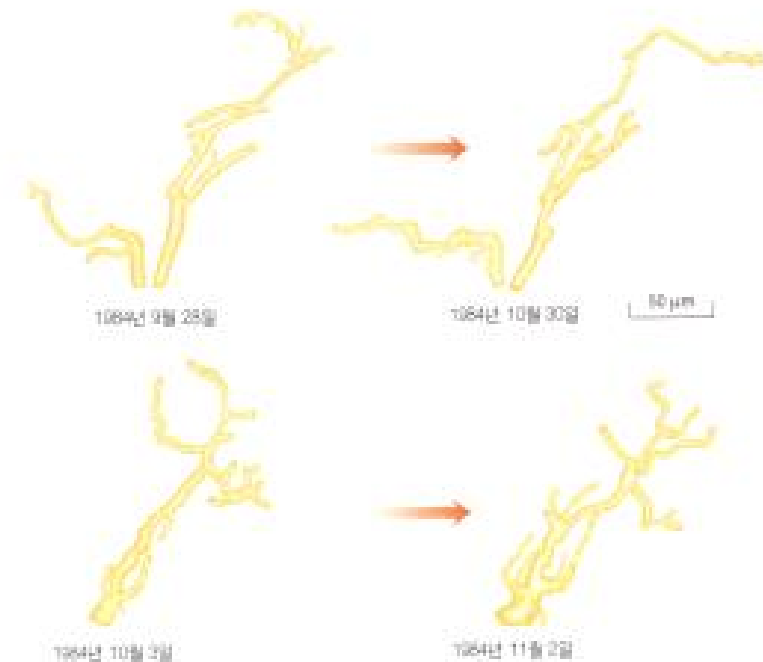


그림 2, 10 두 뉴런의 수상돌기들이 시간에 따라 변하는 모습

참 달 동안 어떤 가지가 길어지고 어떤 가지가 줄어들었다. 뉴런의 모양은 성인기에도 계속 변한다.

출처: Purves & Hadley, 1985

The Journal of Neuroscience  
April 1986, 6(4): 1051-1060

불행히도  
이 논문은  
정밀한 실험결과가 아닌 것으로  
판정되었습니다.

## Dynamic Changes in the Dendritic Geometry of Individual Neurons Visualized Over Periods of Up To Three Months in the Superior Cervical Ganglion of Living Mice

Dale Purves, Robert D. Hadley, and James T. Voyvodic

Department of Anatomy and Neurobiology, Washington University School of Medicine, St. Louis, Missouri 63110

# 기억

- 시냅스 안정화
- 단백질의 합성과 장기증강현상(Long-term potentiation, LTP) 과정
- 시냅스 안정화를 이루어 신경전달물질의 효율이 향상되는 과정이며 이를 장기증강이라고 말한다.

# 기억의 통로

- 회상recall

“앗,, 엄마가 한 말이 생각나는군”

“이번 강좌 제목이 뭐더라?”

- 재인recognition

“어,,맞어, 바로 그 사람이야”

“이 강좌 제목이 <현대자연철학특강>이던가?”

# 장기 기억

- 신경생리학자 에릭 칸델, Columbia Univ. 장기 기억의 메커니즘 규명으로 2000년도 노벨 생리의학상 수상
- CREB 단백질의 인산화 결과 유전자 조절부위 스위치가 켜지고, 이를 통해 뇌세포(해마 부위) 사이의 시냅스 연결이 강화된다.

# 망각의 일반

- 점차적 소멸
- 충격과 손상

# 망각에 대하여

뇌세포가 새로 생기기 때  
문

새로운 기억을 의도하면서  
기존의 기억을 삭제하는 기  
능

좋은 기억과 나쁜 기억을 선  
별하는 과정



**SHARE** RESEARCH ARTICLE

## Hippocampal Neurogenesis Regulates Forgetting During Adulthood and Infancy

Katherine G. Akers<sup>1,\*</sup>, Alonso Martinez-Canabal<sup>1,2,\*</sup>, Leonardo Restivo<sup>1,\*</sup>, Adelaide P. Yiu<sup>1</sup>, Antonietta De Cristofaro<sup>1</sup>, Hwa-Lin (Liz) Hsiang<sup>1,2</sup>, Anne L. Wheeler<sup>1,2</sup>, Axel Guskjolen<sup>1,3</sup>, Yosuke Niibori<sup>1</sup>, Hirotaka Shoji<sup>4</sup>, Koji Ohira<sup>4</sup>, Blake A. Richards<sup>1</sup>, Tsuyoshi Miyakawa<sup>4</sup>, Sheena A. Josselyn<sup>1,2,3,5,†</sup>, Paul W. Frankland<sup>1,2,3,5,†</sup>

+ Author Affiliations  
††Corresponding author. E-mail: paul.frankland@sickkids.ca (P.W.F.), sheena.josselyn@sickkids.ca (S.A.J.)  
‡\* These authors contributed equally to this work.

Science 09 May 2014:  
Vol. 344, Issue 6184, pp. 598-602  
DOI: 10.1126/science.1248903



home » archive » issue » article » abstract

Take part in Nature Publishing Group's annual reader survey here for the chance to win a Macbook Air.

ARTICLE PREVIEW  
view full access options »

NATURE NEUROSCIENCE | ARTICLE

## Retrieval induces adaptive forgetting of competing memories via cortical pattern suppression

Maria Wimber, Arjen Alink, Ian Charest, Nikolaus Kriegeskorte & Michael C Anderson

Affiliations | Contributions | Corresponding author

Nature Neuroscience 18, 582–589 (2015) | doi:10.1038/nn.3973  
Received 29 December 2014 | Accepted 06 February 2015 | Published online 16 March 2015

Citation | Reprints | Rights & permissions | Article metrics

**Abstract**

Abstract • References • Author information • Supplementary information

Remembering a past experience can, surprisingly, cause forgetting. Forgetting arises when other competing traces interfere with retrieval and inhibitory control mechanisms are engaged to suppress the distraction they cause. This form of forgetting is considered to be adaptive because it reduces future interference. The effect of this proposed inhibition process on competing memories has, however, never been observed, as behavioral methods are 'blind' to retrieval dynamics and neuroimaging methods have not isolated retrieval of individual memories. We developed a canonical template tracking method to quantify the activation state of individual target memories and competitors during retrieval. This method revealed that repeatedly retrieving target memories suppressed cortical patterns unique to competitors. Pattern suppression was related to engagement of prefrontal regions that have been implicated in resolving retrieval competition and, critically, predicted later forgetting. Thus, our findings demonstrate a cortical pattern suppression mechanism through which remembering adaptively shapes which aspects of our past remain accessible.

**Subject terms:** Cognitive control • Cognitive neuroscience • Learning and memory • Psychology



Download PDF | Export | Search ScienceDirect | Advanced search

## Infant Behavior and Development

Volume 37, Issue 4, November 2014, Pages 752–759

Brief Report

## The effects of exposure to dynamic expressions of affect on 5-month-olds' memory

Ross Flom, Rebecca B. Janis, Darren J. Garcia, C. Brock Kirwan

Show more

doi:10.1016/j.infbeh.2014.09.006

Get rights and content

- Highlights**
- 5-Month-olds showed memory following exposure to affective faces and voices.
  - Positive faces–voices promoted memory following a 5-min delay.
  - Neutral faces–voices promoted memory following a 1-day delay.

**Abstract**

The purpose of this study was to examine the behavioral effects of adults' communicated affect on 5-month-olds' visual recognition memory. Five-month-olds were exposed to a dynamic and bimodal happy, angry, or neutral affective (face–voice) expression while familiarized to a novel geometric image. After familiarization to the geometric image and exposure to the affective expression, 5-month-olds received either a 5-min or 1-day retention interval. Following the 5-min retention interval, infants exposed to the happy affective expressions showed a reliable preference for a novel geometric image compared to the recently familiarized image. Infants exposed to the neutral or angry affective expression failed to show a reliable preference following a 5-min delay. Following the 1-day retention interval, however, infants exposed to the neutral expression showed a reliable preference for the novel geometric image. These results are the first to demonstrate that 5-month-olds' visual recognition memory is affected by the presentation of affective information at the time of encoding.



# Opposing Effects of Neuronal Activity on Structural Plasticity

Michael Fauth<sup>1,2\*</sup> and Christian Tetzlaff<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Department of Computational Neuroscience, Third Institute of Physics - Biophysics, Georg-August University, Göttingen, Germany; <sup>2</sup> Bernstein Center for Computational Neuroscience, Göttingen, Germany; <sup>3</sup> Max Planck Institute for Dynamics and Self-Organization, Göttingen, Germany

The connectivity of the brain is continuously adjusted to new environmental influences by several activity-dependent adaptive processes. The most investigated adaptive mechanism is activity-dependent functional or synaptic plasticity regulating the transmission efficacy of existing synapses. Another important but less prominently discussed adaptive process is structural plasticity, which changes the connectivity by the formation and deletion of synapses. In this review, we show, based on experimental evidence, that structural plasticity can be classified similar to synaptic plasticity into two categories: (i) Hebbian structural plasticity, which leads to an increase (decrease) of the number of synapses during phases of high (low) neuronal activity and (ii) homeostatic structural plasticity, which balances these changes by removing and adding synapses. Furthermore, based on experimental and theoretical insights, we argue that each type of structural plasticity fulfills a different function. While Hebbian structural changes enhance memory lifetime, storage capacity, and memory robustness, homeostatic structural plasticity self-organizes the connectivity of the neural network to assure stability. However, the link between functional synaptic and structural plasticity as well as the detailed interactions between Hebbian and homeostatic structural plasticity are more complex. This implies even richer dynamics requiring further experimental and theoretical investigations.

**Keywords:** structural plasticity, architectural plasticity, timescales, synaptic plasticity, network topology

## INTRODUCTION

신경세포의  
가소성

구조적  
가소성

기능적  
가소성

## OPEN ACCESS

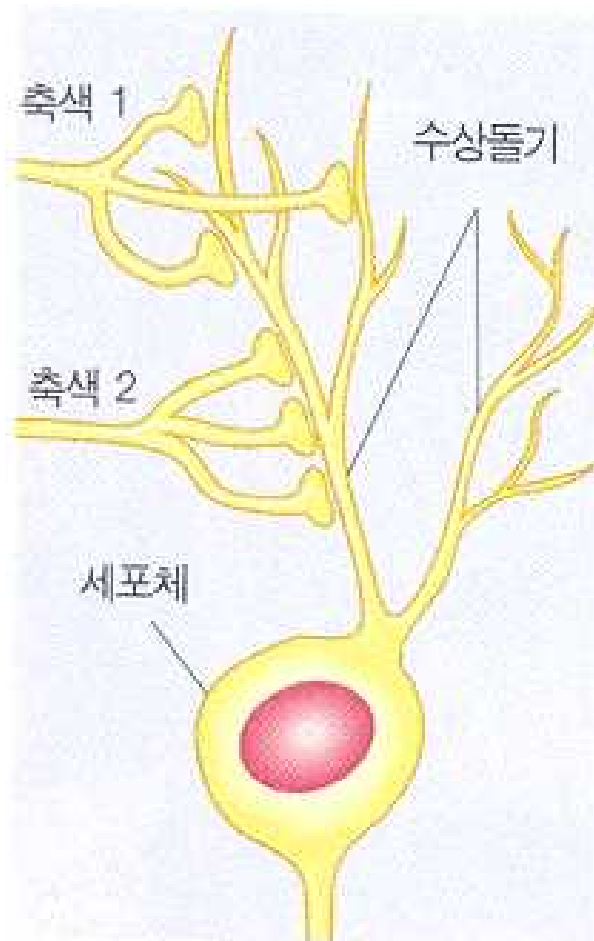
### Edited by:

Aren Van Ooyen,  
Vrije Universiteit (VU), Netherlands

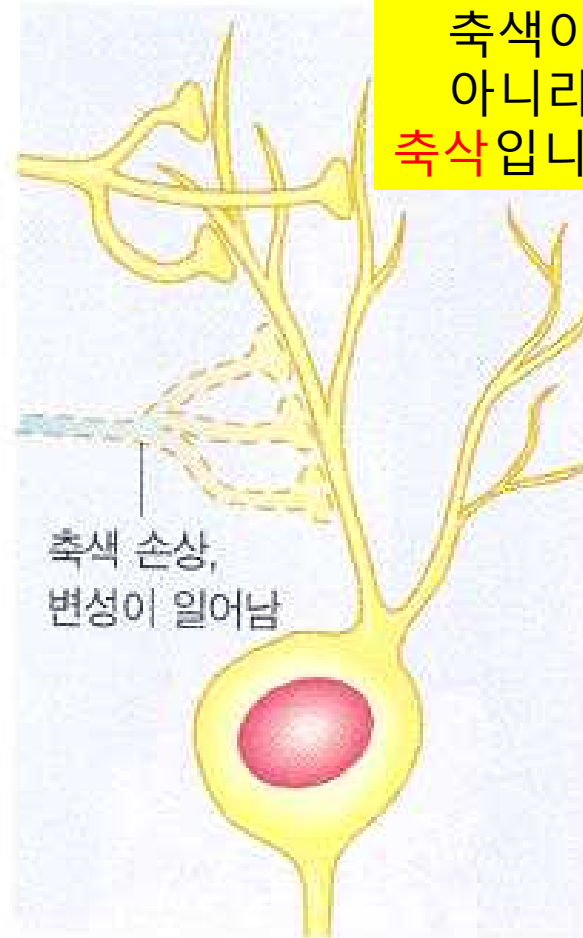
### Reviewed by:

Jochen Triesch,  
Johann Wolfgang Goethe University

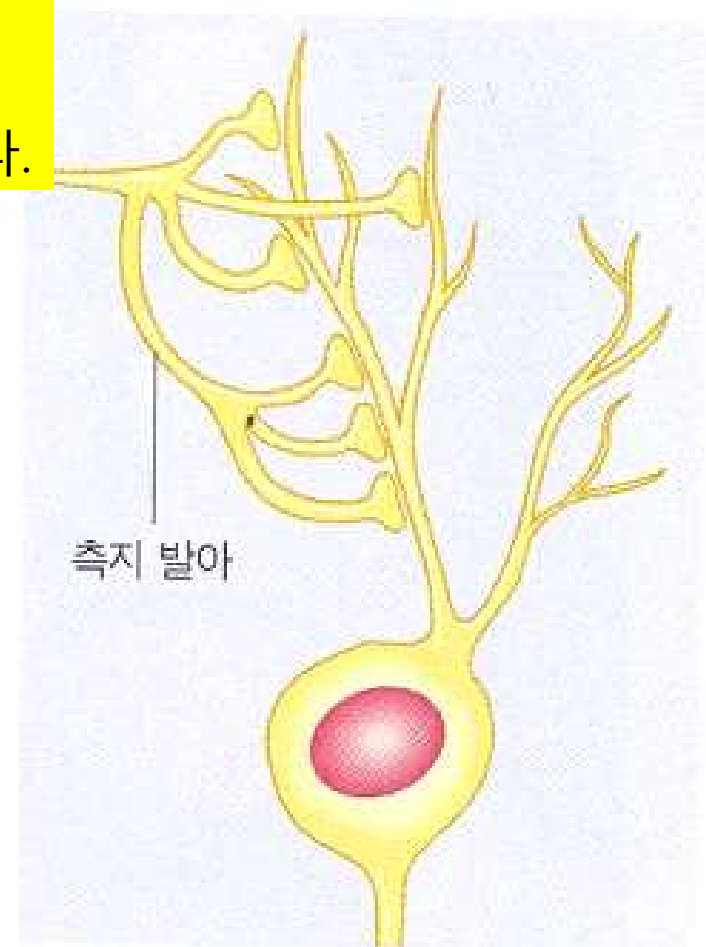
axon  
軸索은  
축색이  
아니라  
축삭입니다.



처음 상태



축색의 상실



빈 시냅스를 채우는 발아

### 그림 5.25 축지 발아

생존한 축색이 새 가지를 뻗어 손상된 축색이 점유했었던 시냅스를 대체한다.

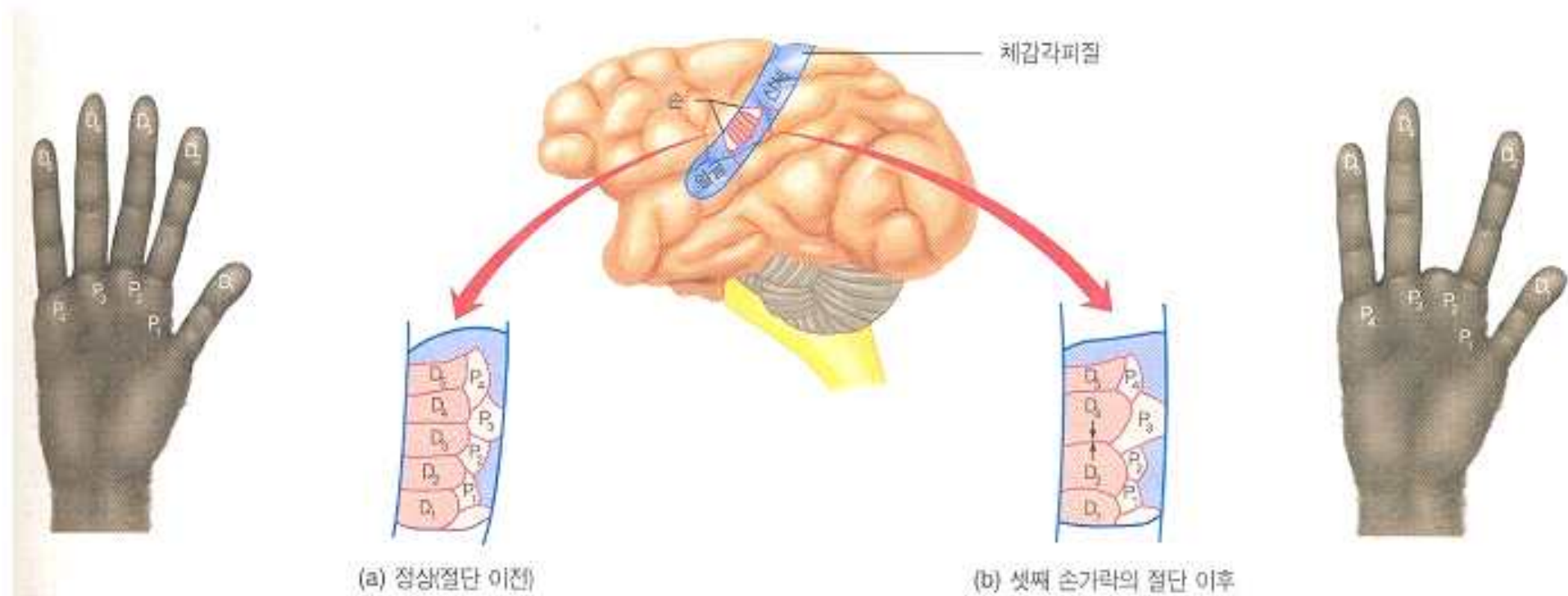


그림 5.28 손가락 절단 후 원숭이의 체감각피질

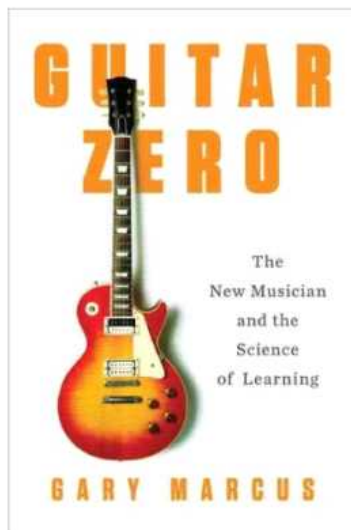
이전에 셋째 손가락(D<sub>3</sub>)에 반응하던 피질 영역이 둘째와 넷째(D<sub>2</sub>와 D<sub>4</sub>), 그리고 손바닥의 일부(P<sub>3</sub>)에 반응하게 되었음을 보라. 출처 : *Annual Reviews, Inc.*, 1983

BOOKS

# Guitar Zero

The New Musician And The Science Of Learning

by GARY MARCUS

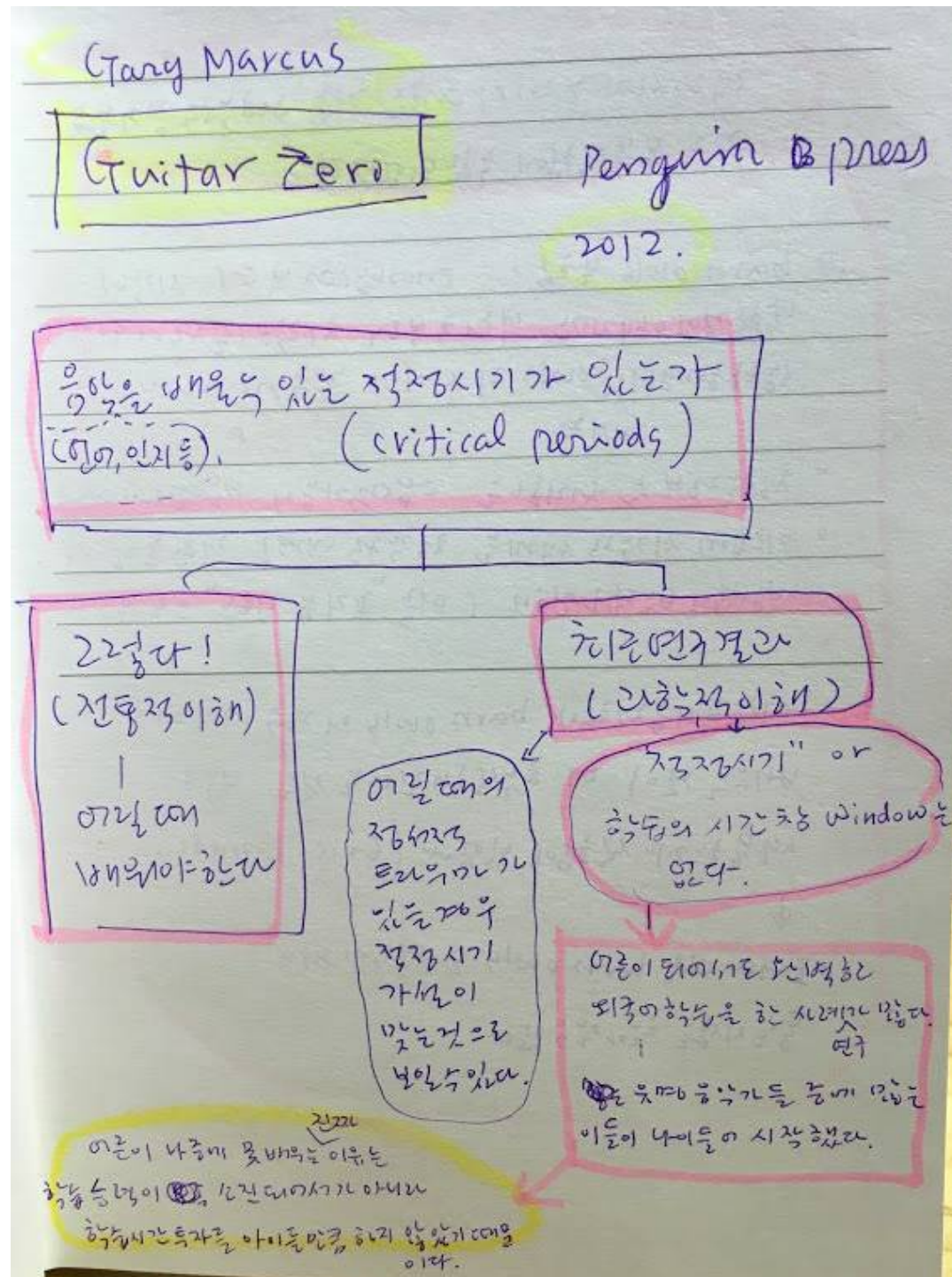


Hardcover, 274 pages, Penguin Group USA, List Price: \$25.95

[purchase](#)

## Book Summary

An NYU professor of psychology describes how he was able to learn to play the guitar in midlife in spite of a limited musical aptitude, revealing what he learned about the brain's capacity for musical proficiency at any time of life and how



JOHN COLTRANE

REMASTERED FROM THE ORIGINAL ANALOG TAPES  
HARD-BOUNDED BOX - PHOTOS BY LEE FRIEDLANDER

6-CD  
6-LP+7" BOXED SETS

MONO  
amazonmusic

- 나는 재능이 없다.
- 무엇을 하든 나쁜 나이가 들었다



- 천천히 나쁜 그것을 하려는 생각을 멈춘다.



연습이 더 중요하다는 리얼리즘을 중언거니  
일한다 (나이가 많아도)



계획과 연습이  
더 중요



음악적 재능/발음의  
생각이 잘못된  
것임을 리얼리즘으로  
보여준다.



나아가 인간의  
한계를 이해하고서  
한편 (2) 나이 무관, 재능 무관하게  
(음악)인을 성취할 수 있는 자를 이해하려고 한다.



그 시나리오

이제는 다른 ~~이~~ 이유는  
저자의 개인적인 취향  
이기에 하리만  
악기 ~~이~~ 연습도 너무  
복잡한 인지기능을  
요하기 때문이다.



음악의 발생  
(생물학적 + 문화적)



## Access

To read this story in full you will need to login or make a payment (see

[nature.com](#) > [Journal home](#) > [Table of Contents](#)

## Brief Communication

*Nature Neuroscience* **12**, 1370 - 1371 (2009)

Published online: 11 October 2009 | doi:10.1038/nn.2412

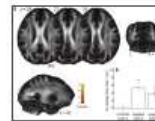
## Training induces changes in white-matter architecture

Jan Scholz<sup>1</sup>, Miriam C Klein<sup>1,2</sup>, Timothy E J Behrens<sup>1,2</sup> & Heidi Johansen-Berg<sup>1</sup>

**Although experience-dependent structural changes have been found in adult gray matter, there is little evidence for such changes in white matter. Using diffusion imaging, we detected a localized increase in fractional anisotropy, a measure of microstructure, in white matter underlying the intraparietal sulcus following training of a complex visuo-motor skill. This provides, to the best of our knowledge, the first evidence for training-related changes in white-matter structure in the healthy human adult brain.**

Here we used DTI to measure white matter changes, and voxel-based morphometry (VBM) to measure gray matter changes, in a longitudinal study of individuals learning a novel visuo-motor skill - juggling. 48 healthy adults gave informed consent to participate and were allocated to a training group (n=24) and an untrained control group (n=24). The training group were scanned before (scan 1) and after (scan 2) a six-week training period and following a subsequent four-week period without juggling (scan 3) ([Supplementary Methods](#)). After training, all subjects could perform at least two continuous cycles of the classic '3-ball cascade' ([Supplementary Fig. 1](#)).

We fitted a diffusion tensor model to DTI data to create whole brain maps of FA which we compared between time points using Tract Based Spatial Statistics (TBSS) ([Supplementary Methods](#)). Comparisons between scan 2 and scan 1 in the trained group revealed significant training-related increases in FA within white matter underlying the right posterior intraparietal sulcus (IPS) ( $p < 0.05$ , corrected,  $t_{\max} = 4.57$ ,  $x = 31$ ,  $y = -59$ ,  $z = 31$ ) ([Fig. 1](#)). We carried out a series of post hoc tests to probe this difference further, demonstrating that it was specific to the trained group and remained elevated relative to baseline after a four week period without juggling ([Supplementary Results](#)).



**Figure 1**

FA increases after juggling training. (a) Colored voxels represent clusters (corrected  $p < 0.05$ ) of significant FA increase from scan 1 to scan 2, superimposed on the mean FA map. (b) Mean FA change from scan 1 from within the cluster shown in (a). ...

[저글링을 할 줄 모르는 48명 성인 대상 실험: 저글링훈련 그룹24명\(매일 30분 연습, 주 1회 개인교습\)과 비훈련 그룹 24명으로 나누어 6주 후 실험참가자 두 그룹 사이의 뇌구조 변화 관찰\(fMRI\) 결과 :저글링을 연습한 그룹에서 모두 뇌구조가 변해 있었다. 미엘린 생성으로 뇌 백질 5%씩 증가 <Ref.> Nature Neuroscience 12, 1370-1371\(Oct. 2009\)](#)

# 연습은 뇌도 바꾼다

@philonatu

저글링 반복연습(6주) 그룹이 비훈련  
대조그룹보다 fMRI 관찰결과 뇌의  
미엘린 백질(시냅스 형성) 5% 증가.

science

Nature Neuroscience 12 (Oct. 2009)

생애초기의 경험은  
시냅스 연결형성에  
중요한 작용을 한다.

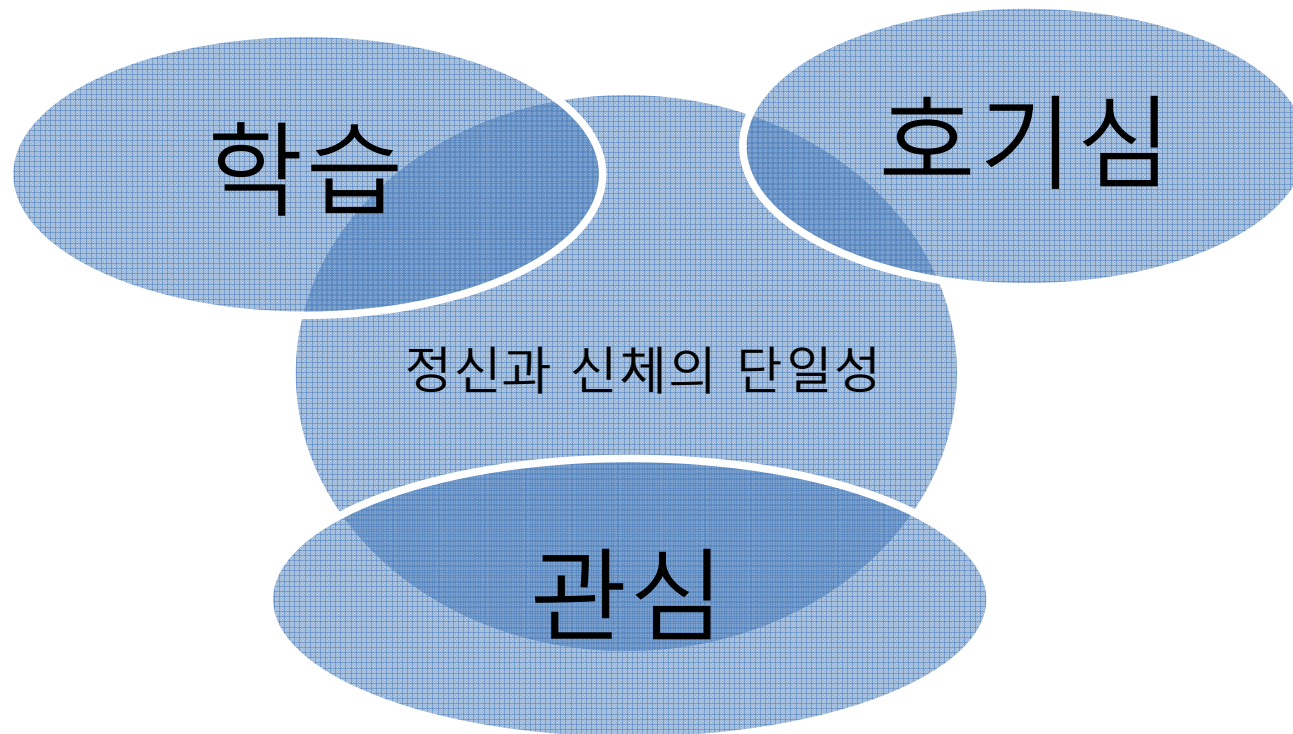
# 뇌가소성의 과학적 근거는 충분하다

- Michael I.; McGarvey, Metta, Quinn, Brian I.; et al. (28 November 2005). "Meditation experience is associated with increased cortical thickness". *NeuroReport* **16** (17): 1893–97. doi:10.1097/01.wnr.0000186598.66243.19. PMC 1361002. PMID 16272874.
40. ^ Lutz, A.; Greischar, L.L.; Rawlings, N.B.; Ricard, M.; Davidson, R. J. (16 November 2004). "Long-term meditators self-induce high-amplitude gamma synchrony during mental practice". *PNAS* **101** (46): 16369–73. doi:10.1073/pnas.0407401101. PMC 526201. PMID 15534199. Retrieved 8 July 2007.
41. ^ Sharon Begley (20 January 2007). "How Thinking Can Change the Brain". <http://www.dailymail.com>. External link in `|publisher=` (help)
42. ^ Davidson, Richard; Lutz, Antoine (January 2008). "Buddha's Brain: Neuroplasticity and Meditation" (PDF). *IEEE Signal Processing Magazine*. Archived from the original on 12 January 2012.
43. ^ Chris Frith (17 February 2007). "Stop meditating, start interacting". *New Scientist*.
44. ^ Tarumi T, Zhang R (January 2014). "Cerebral hemodynamics of the aging brain: risk of Alzheimer disease and benefit of aerobic exercise". *Front Physiol* **5**: 6. doi:10.3389/fphys.2014.00006. PMC 3896879. PMID 24478719. "Exercise-related improvements in brain function and structure may be conferred by the concurrent adaptations in vascular function and structure. Aerobic exercise increases the peripheral levels of growth factors (e.g., BDNF, IGF-1, and VEGF) that cross the blood-brain barrier (BBB) and stimulate neurogenesis and angiogenesis (Trejo et al., 2001; Lee et al., 2002; Fabel et al., 2003; Lopez-Lopez et al., 2004)."
45. ^ Szuhany KL, Bugatti M, Otto MW (October 2014). "A meta-analytic review of the effects of exercise on brain-derived neurotrophic factor". *J Psychiatr Res* **60C**: 56–64. doi:10.1016/j.jpsychires.2014.10.003. PMC 4314337. PMID 25455510. "Consistent evidence indicates that exercise improves cognition and mood, with preliminary evidence suggesting that brain-derived neurotrophic factor (BDNF) may mediate these effects. The aim of the current meta-analysis was to provide an estimate of the strength of the association between exercise and increased BDNF levels in humans across multiple exercise paradigms. We conducted a meta-analysis of 29 studies (N = 1111 participants)
- review. *Ann Intern Med* **153**: 601–602. doi:10.2196/ajcc.2014.003520. PMC 3990369. PMID 24748784.
51. ^ Guiney H, Machado L (February 2013). "Benefits of regular aerobic exercise for executive functioning in healthy populations". *Psychon Bull Rev* **20** (1): 73–86. doi:10.3758/s13423-012-0345-4. PMID 23229442. "Executive functions are strategic in nature and depend on higher-order cognitive processes that underpin planning, sustained attention, selective attention, resistance to interference, volitional inhibition, working memory, and mental flexibility ... Data to date from studies of aging provide strong evidence of exercise-linked benefits related to task switching, selective attention, inhibition of prepotent responses, and working memory capacity; furthermore, cross-sectional fitness data suggest that working memory updating could potentially benefit as well. In young adults, working memory updating is the main executive function shown to benefit from regular exercise, but cross-sectional data further suggest that task-switching and post-error performance may also benefit. In children, working memory capacity has been shown to benefit, and cross-sectional data suggest potential benefits for selective attention and inhibitory control. ... Support for the idea that higher levels of aerobic activity ... gain [gain] 얻다, 획득하다, 달성하다 superior brain structure has been gained through cross-sectional studies in older adults and children (for a recent review, see Voss, Nagamatsu, et al., 2011). ... only those in the aerobic exercise group exhibited improved connectivity between the left and right prefrontal cortices, two areas that are crucial to the effective functioning of the fronto-executive network. ... Together, these studies provide evidence that regular aerobic exercise benefits control over responses during selective attention in older adults. ... aerobic fitness is a good predictor of performance on tasks that rely relatively heavily on inhibitory control over prepotent responses (e.g., Colcombe et al., 2004, Study 1; Prakash et al., 2011) and also that regular aerobic exercise improves performance on such tasks ... Overall, the results from the span and Sternberg tasks suggest that regular exercise can also confer benefits for the volume of information that children and older adults can hold in mind at one time."
52. ^ Buckley J, Cohen JD, Kramer AF, McAuley E, Mullen SP (2014). "Cognitive control in the self-regulation of physical activity and sedentary behavior". *Front Hum Neurosci* **8**: 747. doi:10.3389/fnhum.2014.00747. PMC 4179677. PMID 25324754.
- Vol. I (1945) and Vol. II (1950). Open Access.
80. ^ Stratton G.M. (1896). "Some preliminary experiments on vision without inversion of the retinal image". *Psychological Review* **3** (6): 611–7. doi:10.1037/h0072918.
81. ^ Gonzalo, J. (1952). "Las funciones cerebrales humanas según nuevos datos y bases fisiológicas. Una introducción a los estudios de Dinámica Cerebral". *Trabajos del Inst. Cajal de Investigaciones Biológicas* **XLIV**: pp. 95–157. [Facsimil edition as "Splemento I" in *Dinámica Cerebral* (2010). Open Access. Complete English translation, Open Access.
82. ^ *Brain Science Podcast* Episode #10, "Neuroplasticity"
83. ^ "Wired Science . Video: Mixed Feelings". PBS. Retrieved 12 June 2010.
84. ^ "Shepherd Ivory Franz". Rkthomas.myweb.uga.edu. Archived from the original on 2012-02-03. Retrieved 12 June 2010.
85. ^ Colotta, Victor A.; Bach-y-Rita, Paul (2002). "Shepherd Ivory Franz: His contributions to neuropsychology and rehabilitation" (PDF). *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience* **2** (2): 141–148. doi:10.3758/CABN.2.2.141. Archived from the original on 1 March 2012.
86. ^ Maguire, E. A.; Frackowiak, R. S.; Frith, C. D. (1997). "Recalling routes around london: Activation of the right hippocampus in taxi drivers". *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience* **17** (18): 7103–7110. PMID 9278544.
87. ^ Woollett, K.; Maguire, E. A. (2011). "Acquiring "the Knowledge" of London's Layout Drives Structural Brain Changes". *Current Biology* **21** (24): 2109–2114. doi:10.1016/j.cub.2011.11.018. PMC 3268356. PMID 22169537.
88. ^ Maguire, E. A.; Gadian, D. G.; Johnsrude, I. S.; Good, C. D.; Ashburner, J.; Frackowiak, R. S. J.; Frith, C. D. (2000). "Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers". *Proceedings of the National Academy of Sciences* **97** (8): 4398–4403. Bibcode:2000PNAS...97.4398M. doi:10.1073/pnas.070039597. PMC 18253. PMID 10716738.
89. ^ <http://www.kavliprize.org/prizes-and-laureates/prizes/2016-kavli-prize-neuroscience>
90. ^ Hubel, D.H.; Wiesel, T.N. (1 February 1970). "The period of susceptibility to the physiological effects of unilateral eye closure in kittens". *The Journal of Physiology* **206** (2): 419–433.

# 정리

- 신경세포 자체는 증가하지 않지만, 신경세포의 가지는 환경과 의지에 따라 증감한다
- (신경세포의 수 약 천억개, 세포 하나당 가지의 가능수 4,000개에서 만개 수준)
- 신경세포와 신경세포들이 연결되는 시냅스 synapse(몸)는 마음쓰고 행동(행동이행과 습관)에 따라 변화가능하다.
- 기억, 인식, 사랑, 호기심, 즐거운 감정, 자율적 학습의 중요성

신경세포가 가소성이라는 의미는  
결국 정신과 마음이 단일한 상태임을 포함한다.



- \*정신과 신체의 단일성이란? 몸이 마음에 영향을 주지만 그 거꾸로 마음이 몸에 영향을 준다는 뜻.

# 가소성 비교

## • 신경세포의 가소성

- 신경세포 자체는 증가하지 않지만, 신경세포의 가지는 환경과 의지에 따라 증감한다
- (신경세포 천억개 수준, 세포 하나당 가지의 가능수 4,000개에서 만개 수준에서 곱하면 약 100조개의 시냅스 가능함)
- 신경세포와 신경세포들이 연결되는 시냅스synapse(몸)는 마음에 따라 변화가능하다.
- 기억, 반복인식, 사랑, 호기심, 즐거운 감정유지, 자율적 학습의지가 뉴런세포의 가소성을 결정한다.

## • 후성유전학의 가소성

- 유전자 자체는 변화하지 않지만, 유전자 스위칭의 변동에 따라 유전자의 활성화가 이루어지느냐, 아니면 잠재적으로 닫혀있게 되느냐가 결정된다.
- 그런 스위칭의 변동은 후천적 환경과 행동수행력에 달려있다.
- 유전학이 결정론적 철학이라면 후성유전학은 환경론과 상호성 사유철학과 연결될 수 있다.
- 환경조건, 변화의지와 성격, 운동과 식습관이 후성유전의 가소성을 좌우한다.

# 자아에 대한 의식

- 생존의 최적화
- 뇌의 예측적 지각활동
- 편향은 뇌의 현상

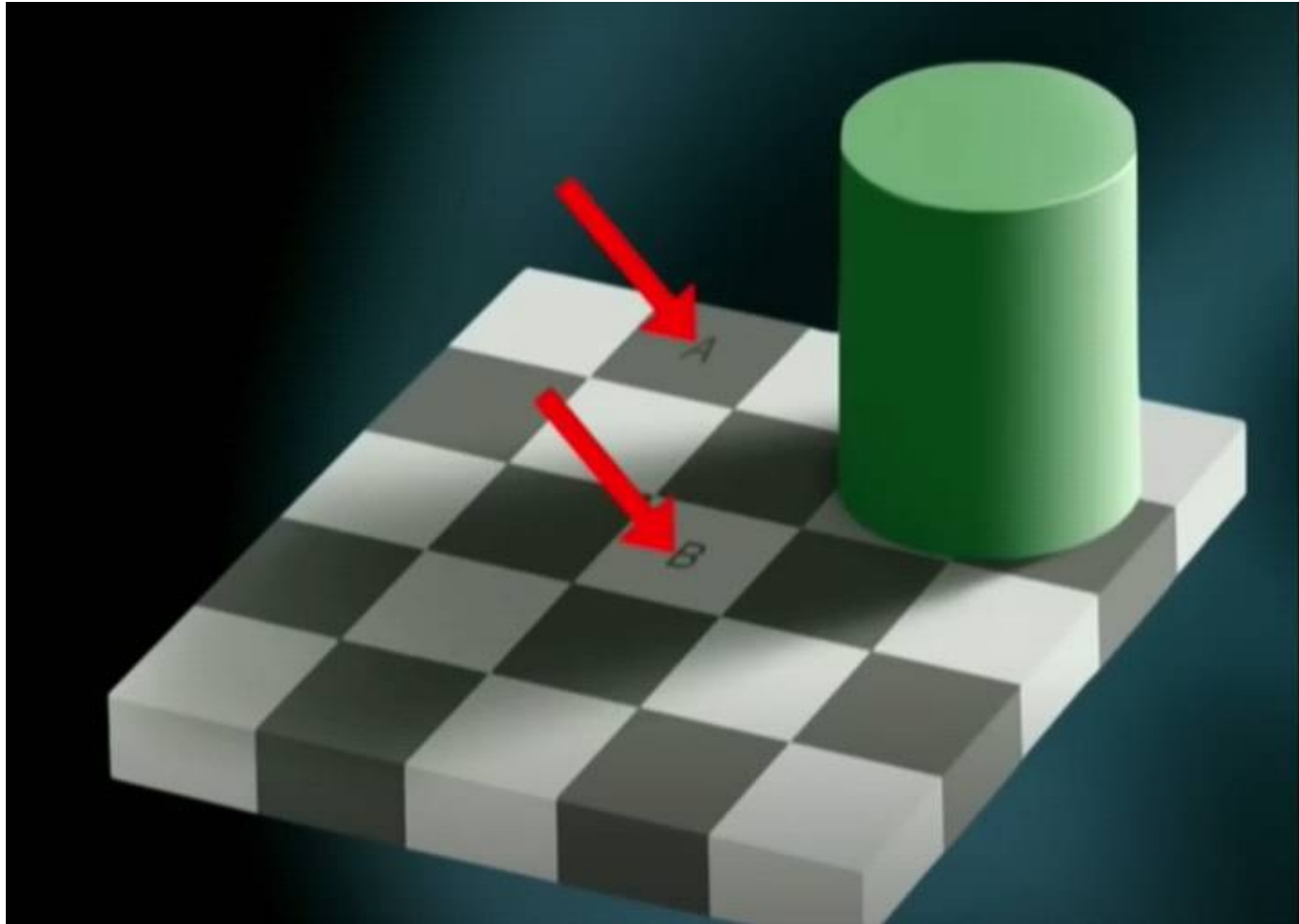
# 생명의 주체는 누구인가?

결정론적 사유	환경론적 사유
유전학 genetics	후성유전학 epigenetics
유전자만이 정보를 계승한다.	DNA메틸화, 히스톤 변형
환경에 무관	환경 의존적
선천적 요인이 중요	연습, 학습, 반복 등의 후천적 요인 중시

# 생명으로 본 나의 두 모습

차있음	비어있음
간직하려고 함 conserve 머물고자 함 과거를 지키려는 데 힘을 씀 대상을 신비화시키고 이상화시킴	채우려 함 나아가려 함 progress 미래로 나갈 수 밖에 없음 현실을 중시함

# 주변세계에 관한 의식



Edward H. Adelson (1995)

