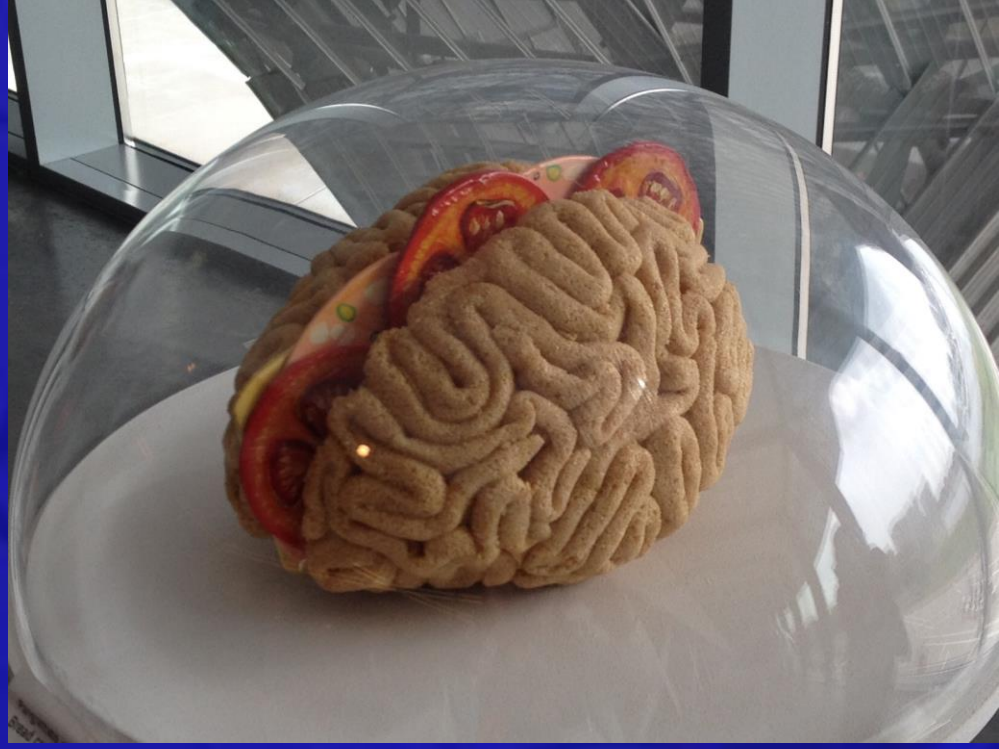
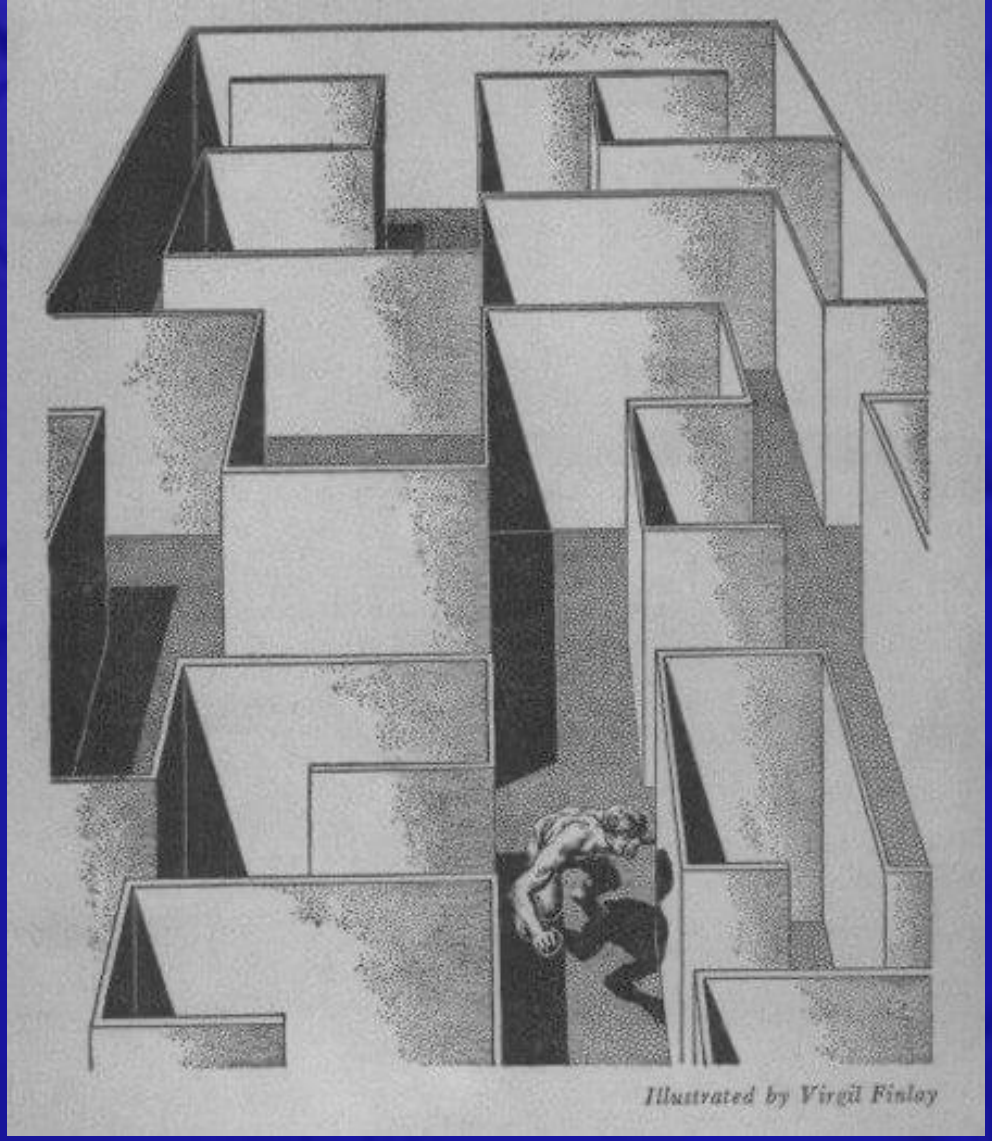


# МОЯ НАУКА О МОЗГЕ

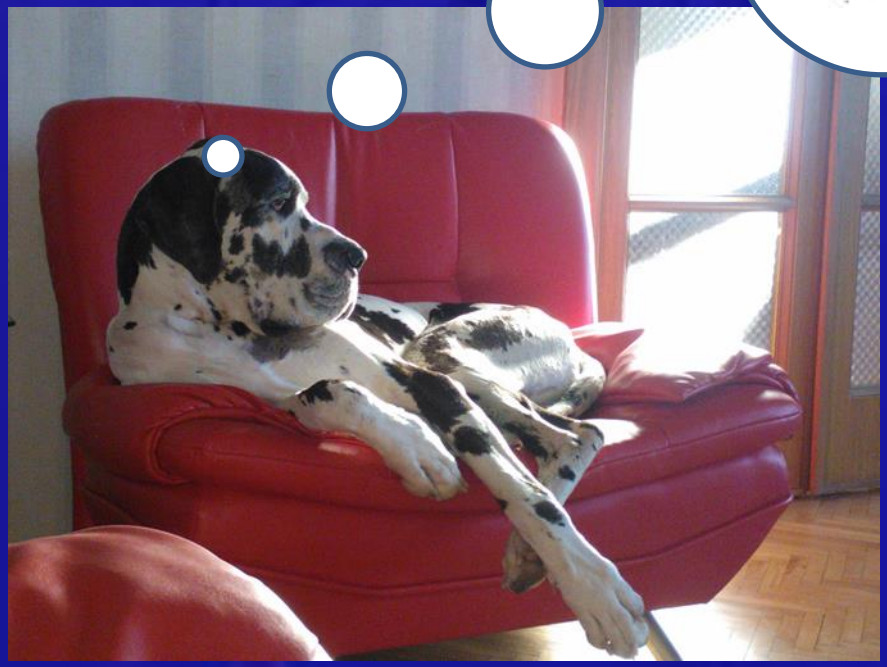
Сварник ОЕ

(Институт психологии РАН, Москва)



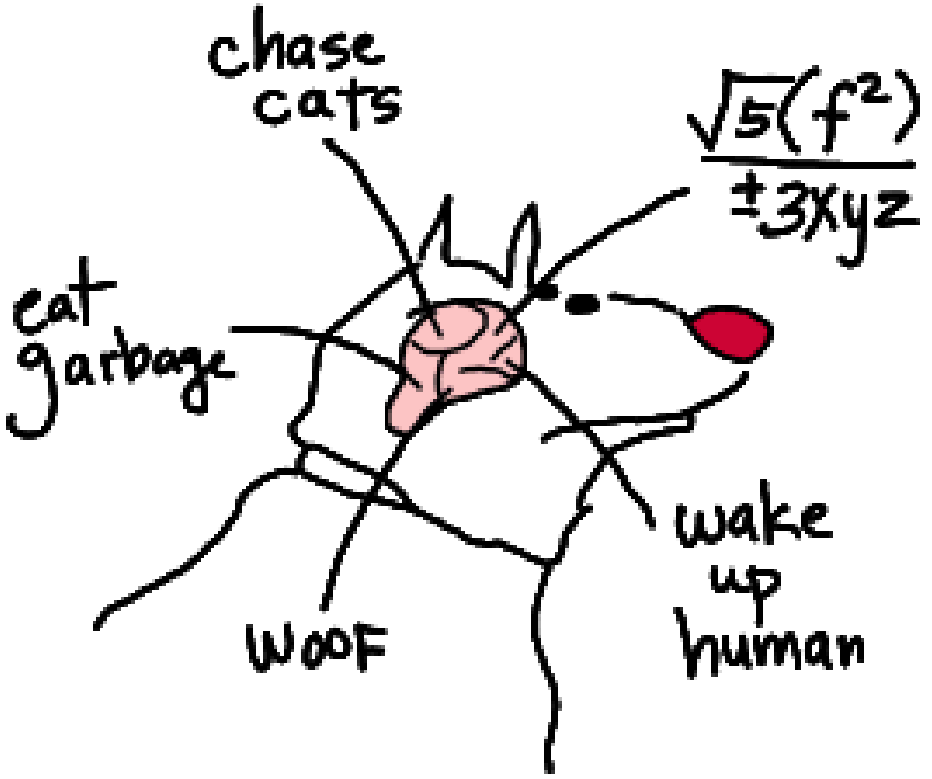
*Illustrated by Virgil Finlay*

Learning Theory by James V. McConnell



Он разумен?

# DOG BRAIN

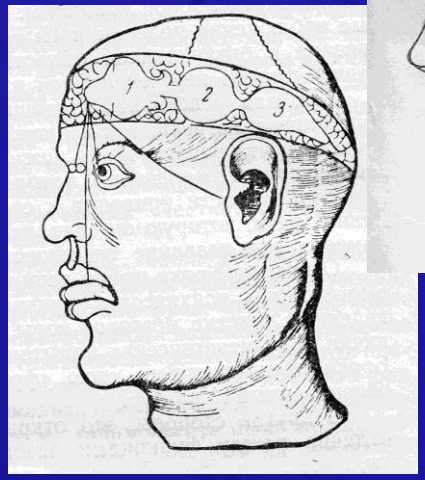

chase cats
$\frac{\sqrt{5}(f^2)}{\pm 3xyz}$
eat garbage
wake up human
WOOF

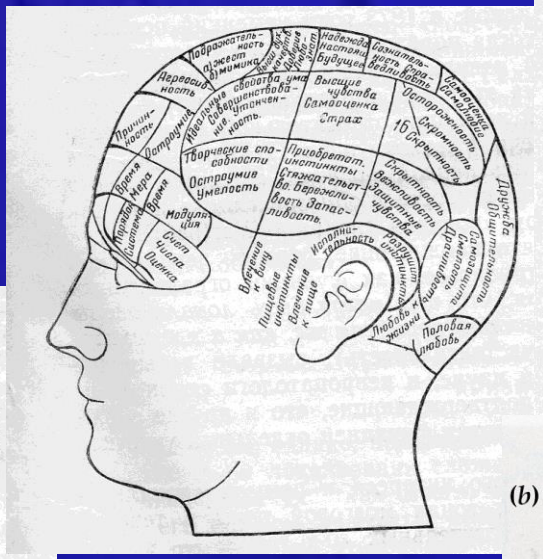
# антропоморфизм

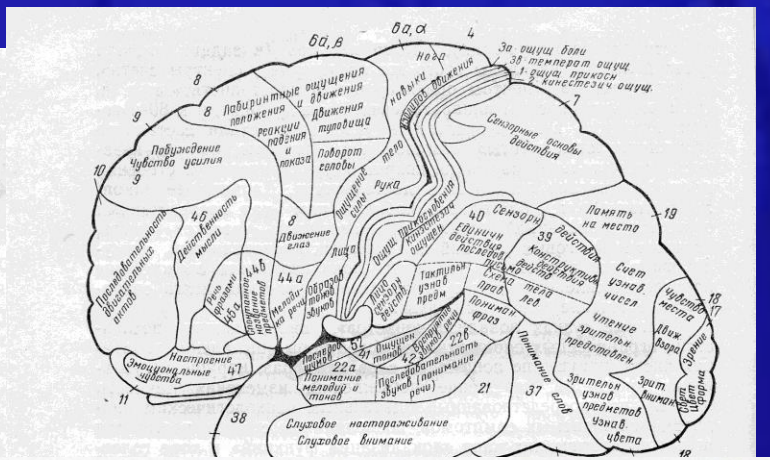
The brain, **sensing** the internal and external milieu, and **consulting** its database, **predicts** what is likely to be needed; then, it **computes** the best response.

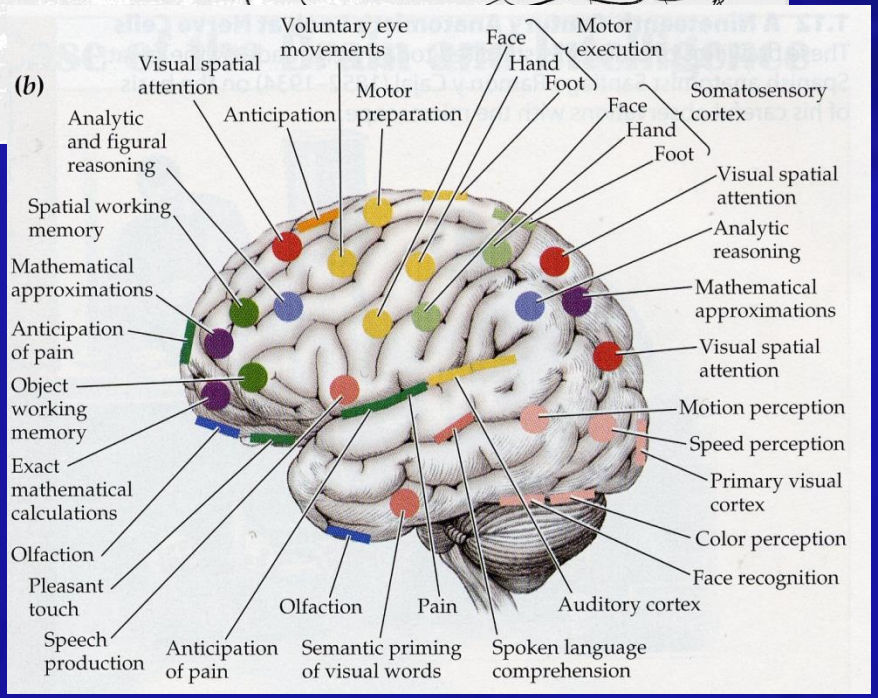
Schulkin & Sterling 2019

# КАК НЕ «РАБОТАЕТ» НАШ МОЗГ

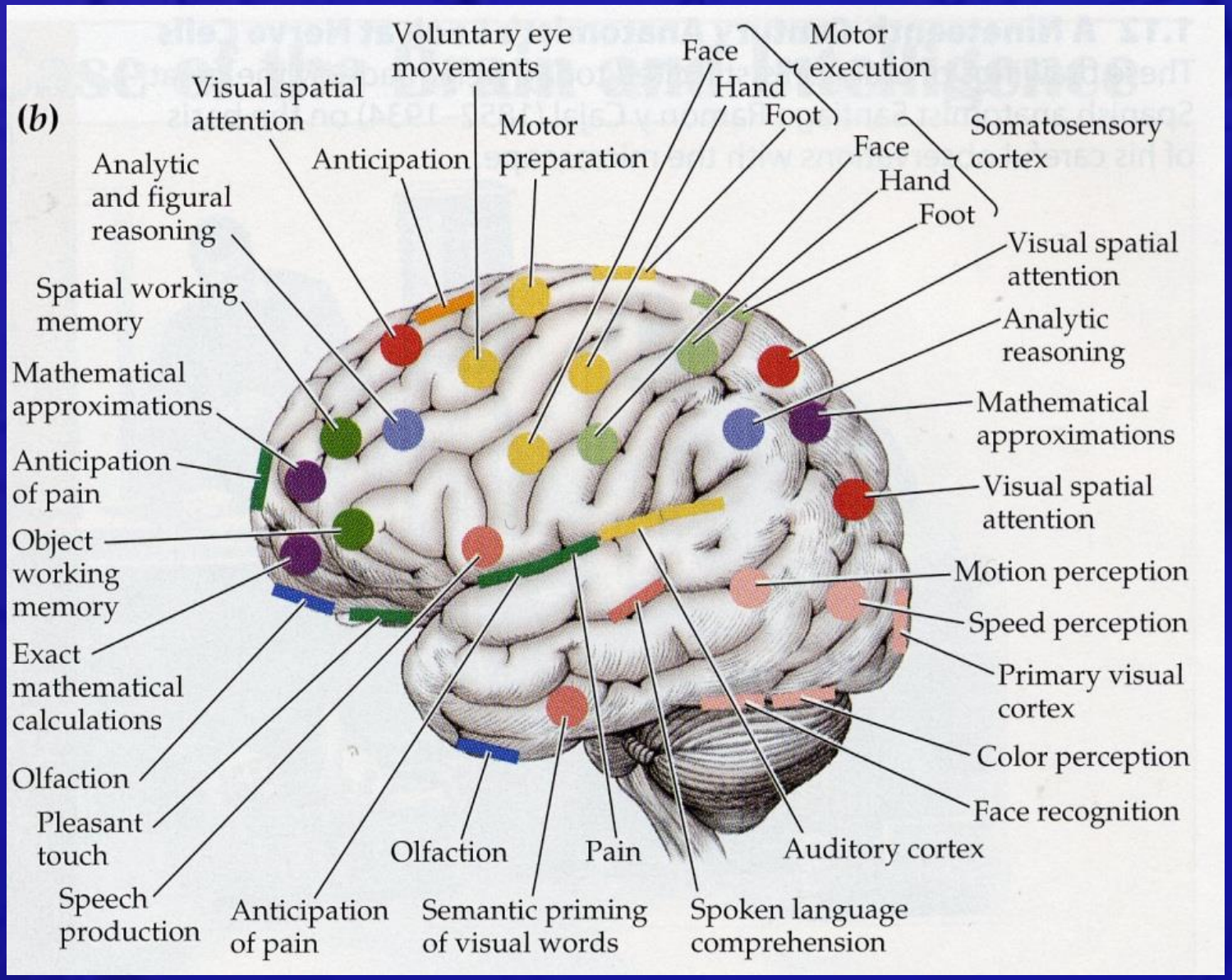




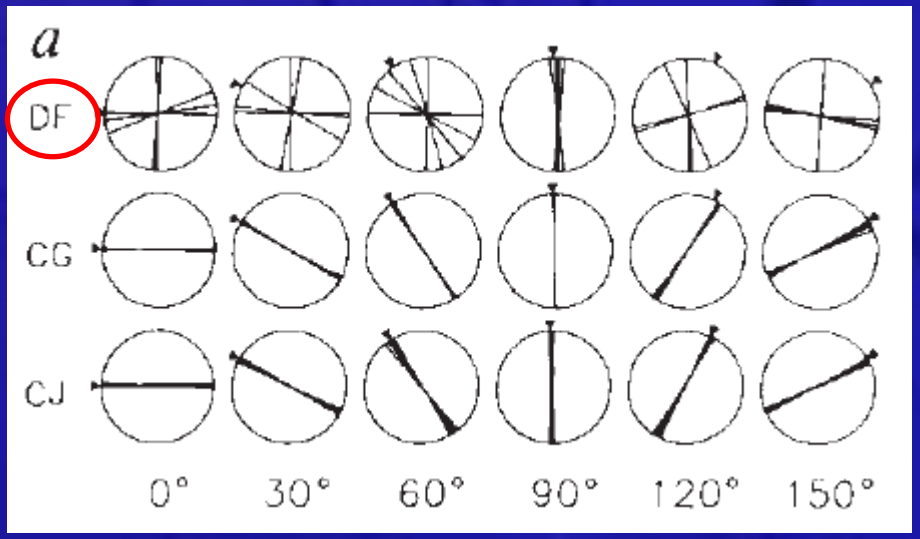




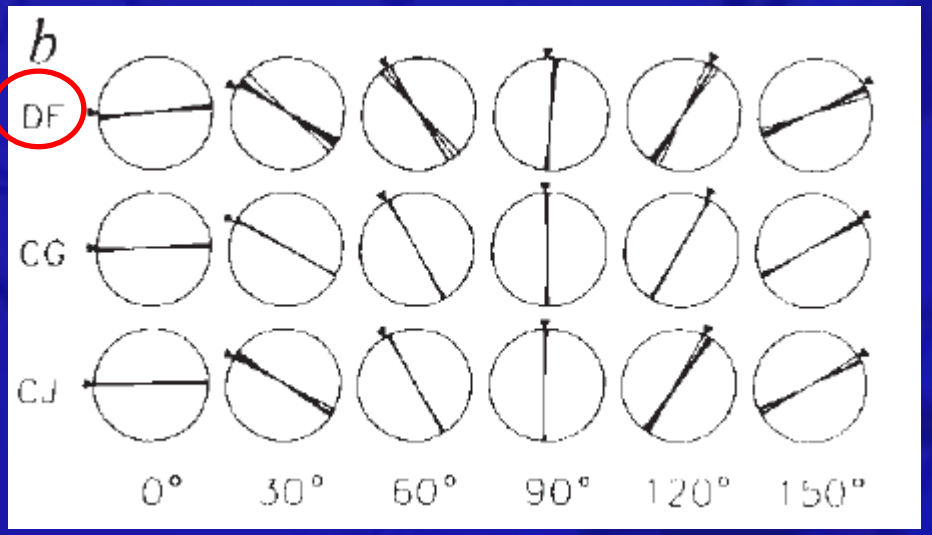
# Как быть психофизиологом?



# Насколько феномены психического отделимы друг от друга?




«ориентируйте карту как щель на диске»



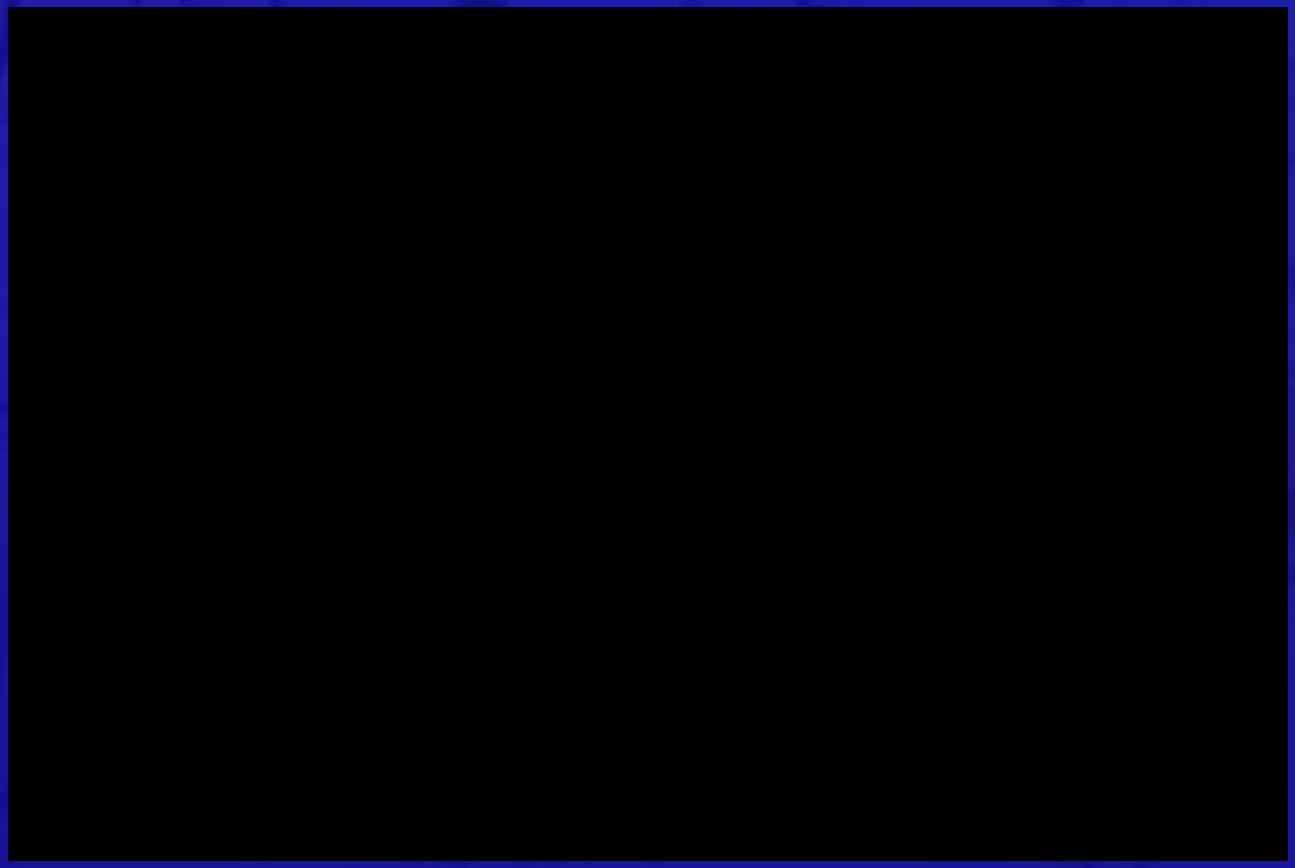

«опустите карту в щель»

Goodale et al., 1999

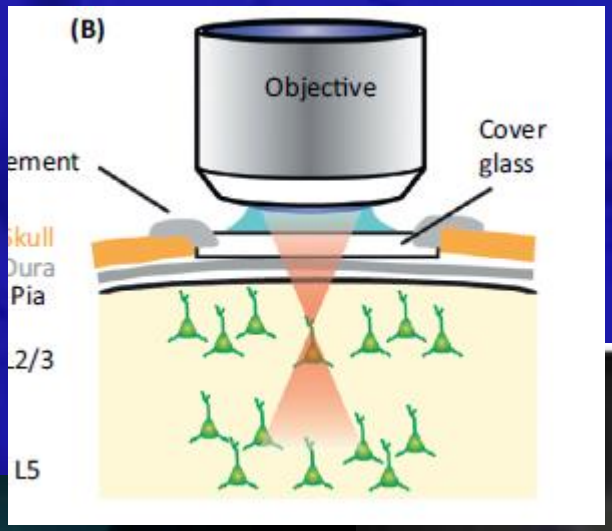
**Восприятие, понимание, мышление, сознание?**

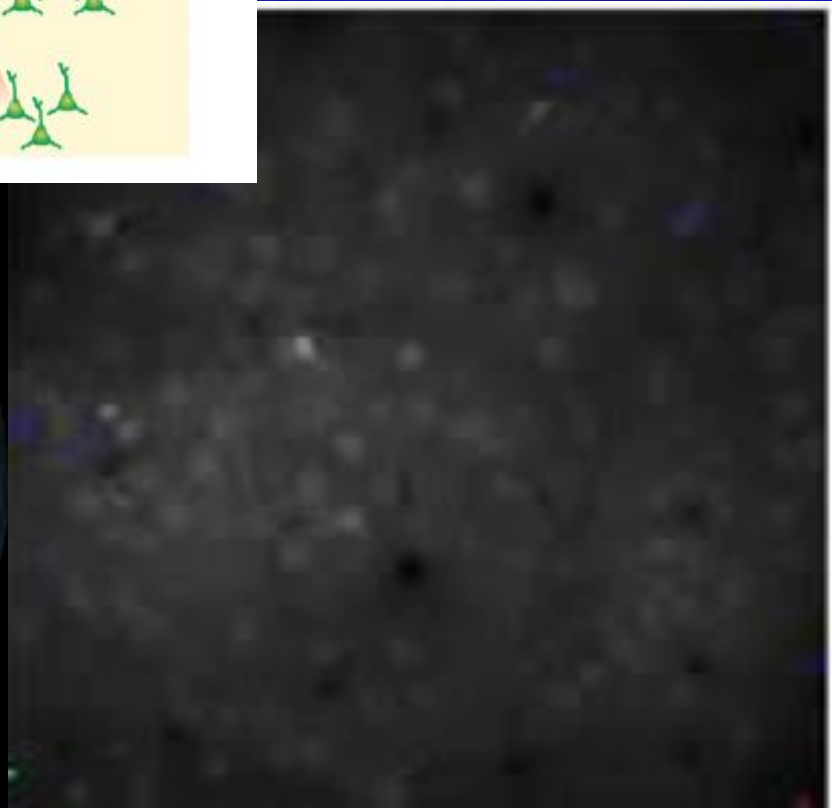
Откуда мы вообще знаем о существовании этих сущностей?

# «РАБОТА» МОЗГА СКЛАДЫВАЕТСЯ ИЗ АКТИВАЦИЙ ОТДЕЛЬНЫХ НЕЙРОНОВ



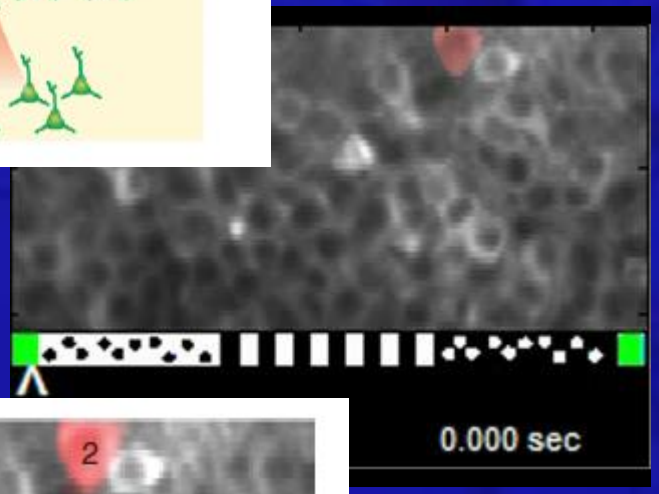
# «РАБОТА» МОЗГА СКЛАДЫВАЕТСЯ ИЗ АКТИВАЦИЙ ОТДЕЛЬНЫХ НЕЙРОНОВ

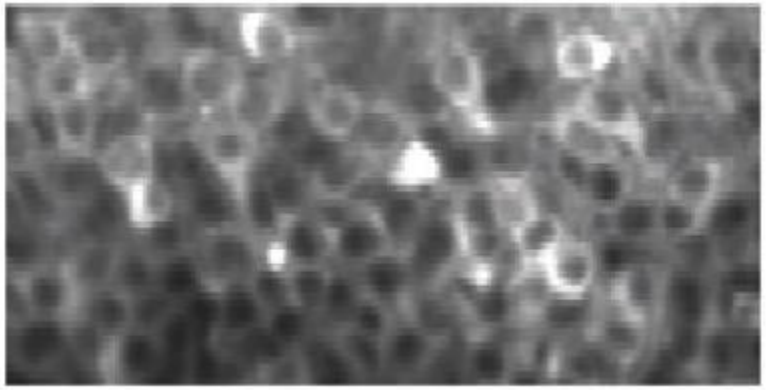


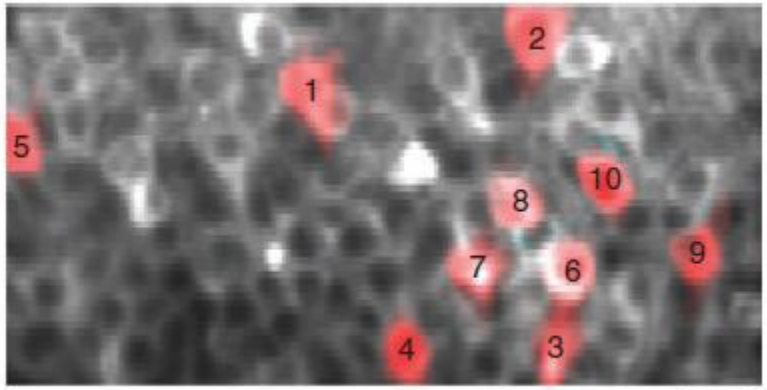



# «РАБОТА» МОЗГА СКЛАДЫВАЕТСЯ ИЗ АКТИВАЦИЙ ОТДЕЛЬНЫХ НЕЙРОНОВ



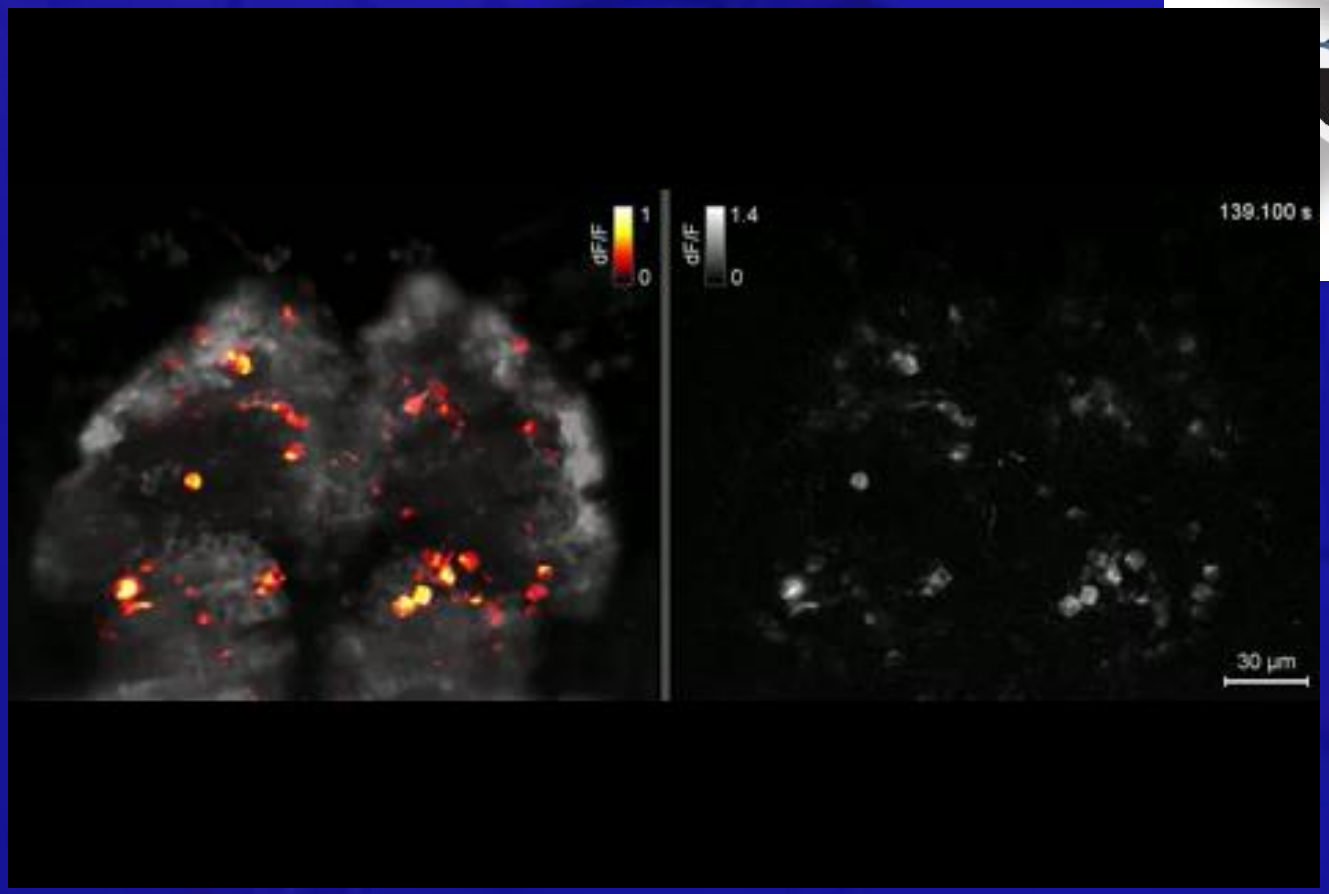



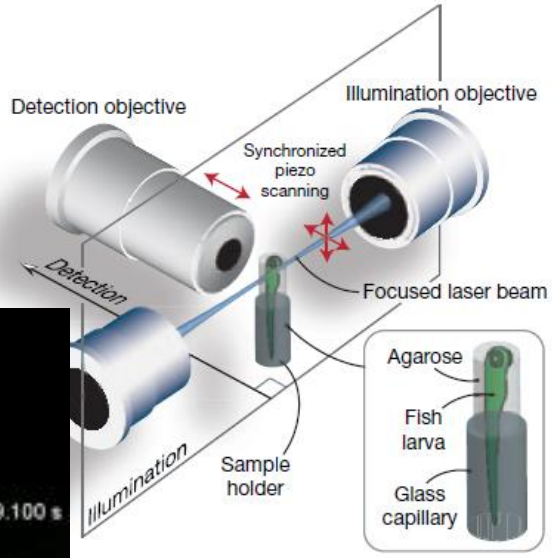



Tank

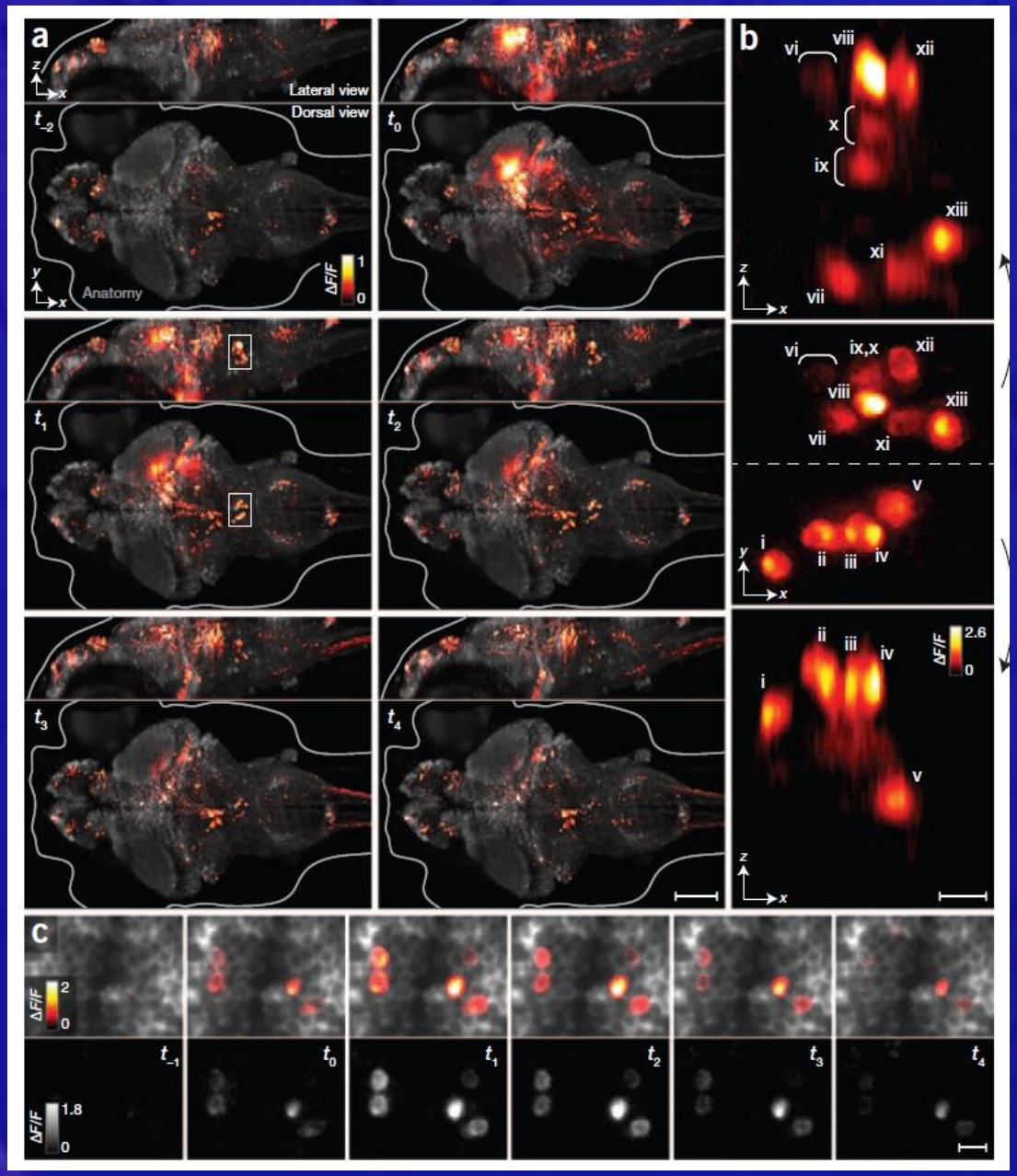
# Whole-brain functional imaging at cellular resolution using light-sheet microscopy

Misha B Ahrens & Philipp J Keller



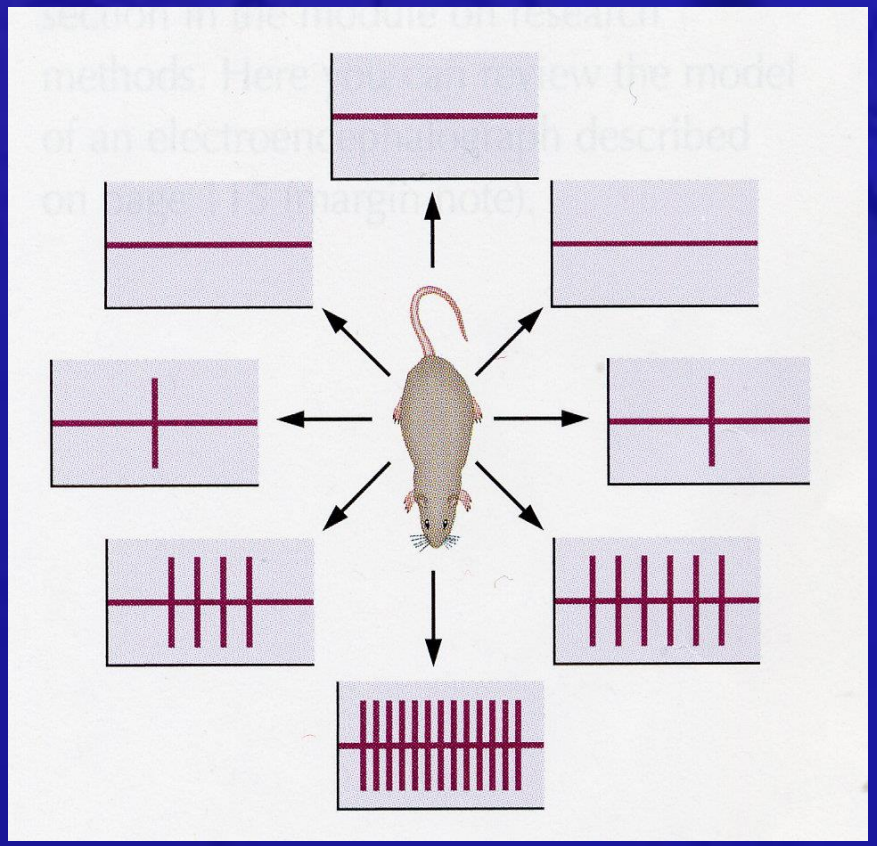



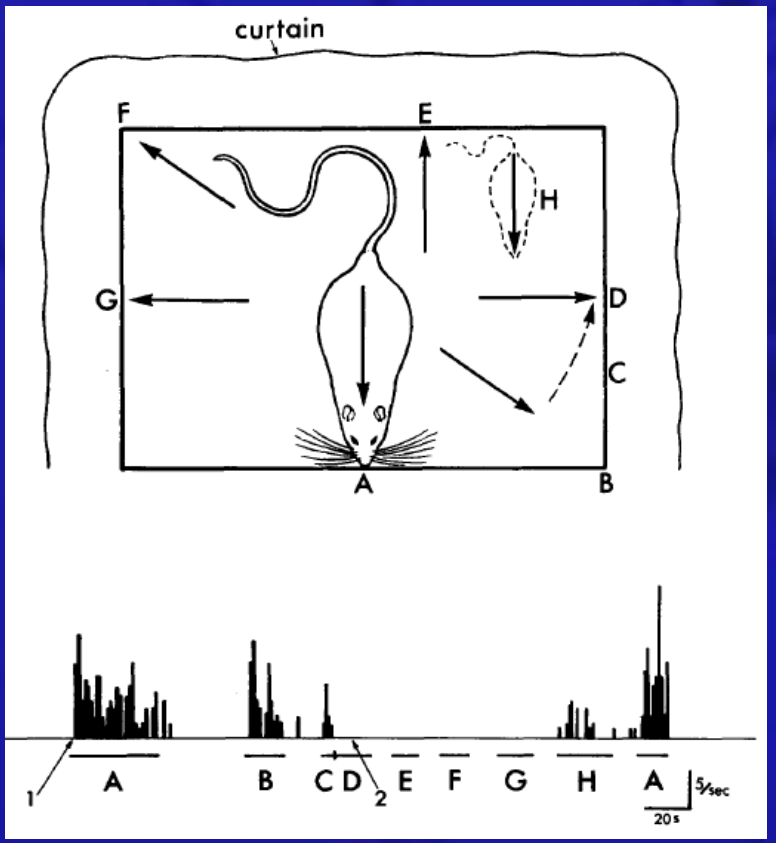

Ahrens et al., 2013




Ahrens et al., 2013

# В активности нейронов наблюдается субъективность






O'Keefe & Dostrovsky, 1971

13:44, 6 октября 2014

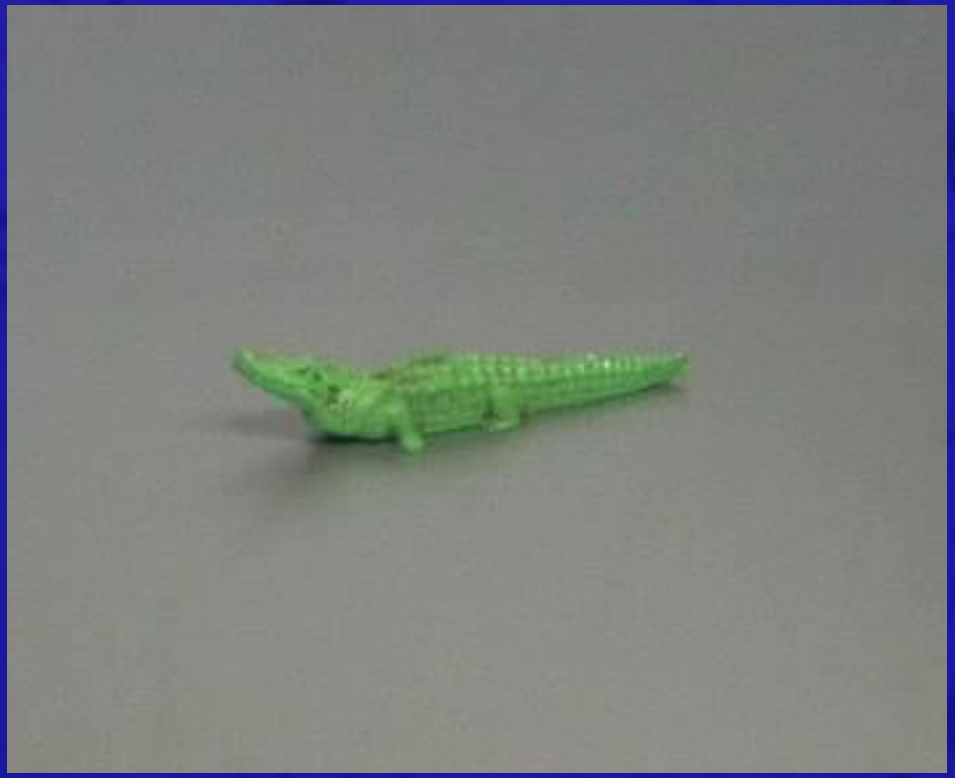
# Присуждена Нобелевская премия по физиологии и медицине

Мэй-Бритт Мозер и Эдвард Мозер
Фото: The Kavli Institute at the NTNU / Wikipedia

Джон О`Киф
Фото: University College London

## Нейроны «места»

# АКТИВНОСТЬ ОТДЕЛЬНЫХ НЕЙРОНОВ СВЯЗАНА С ТЕМ, ЧТО ДЕЛАЕТ ОРГАНИЗМ



Нейрон «крокодильчика»

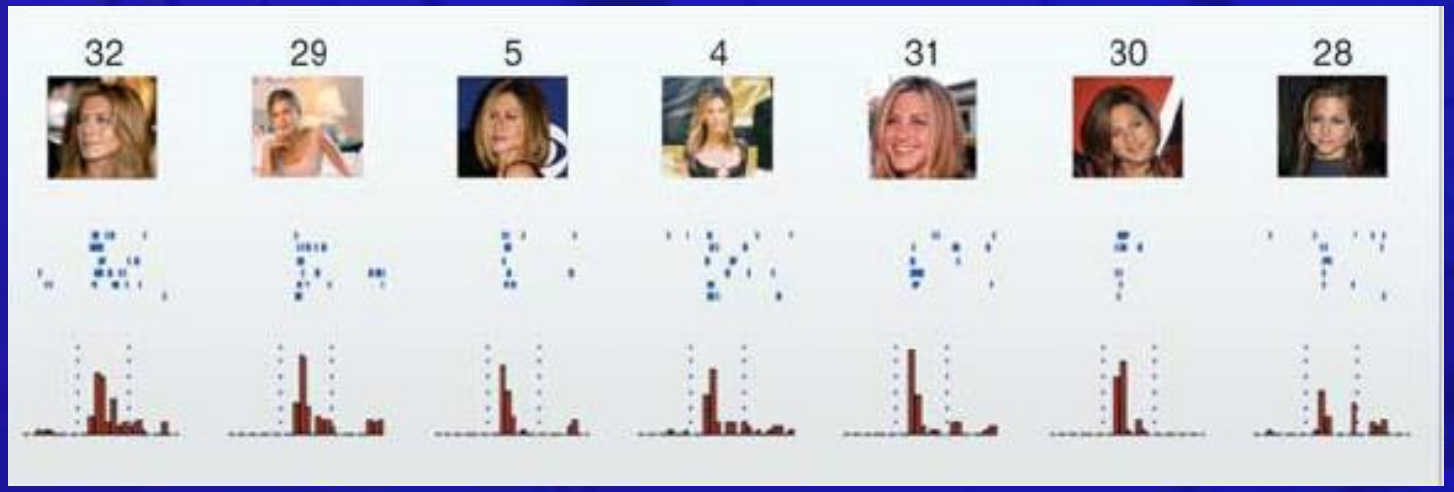
# Нейрон «моей бабушки»?

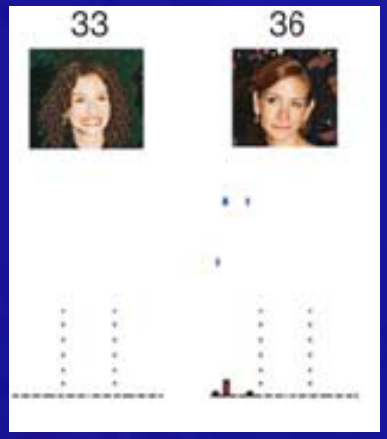
## Brain Cells for Grandmother

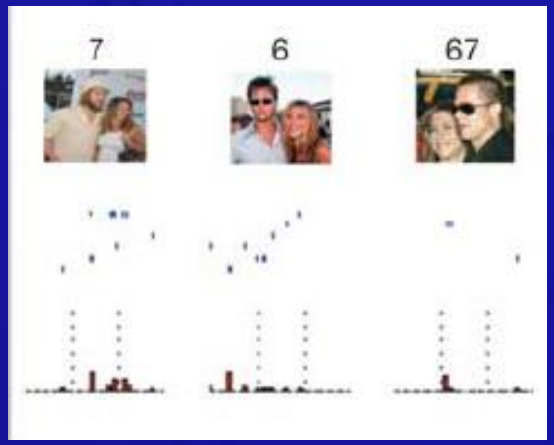
Each concept—each person or thing in our everyday experience—may have a set of corresponding neurons assigned to it

*By Rodrigo Quian Quiroga, Itzhak Fried and Christof Koch*

# ЛЮБОЕ НАШЕ ПОВЕДЕНИЕ СОПРОВОЖДАЕТСЯ АКТИВНОСТЬЮ НАШИХ НЕЙРОНОВ

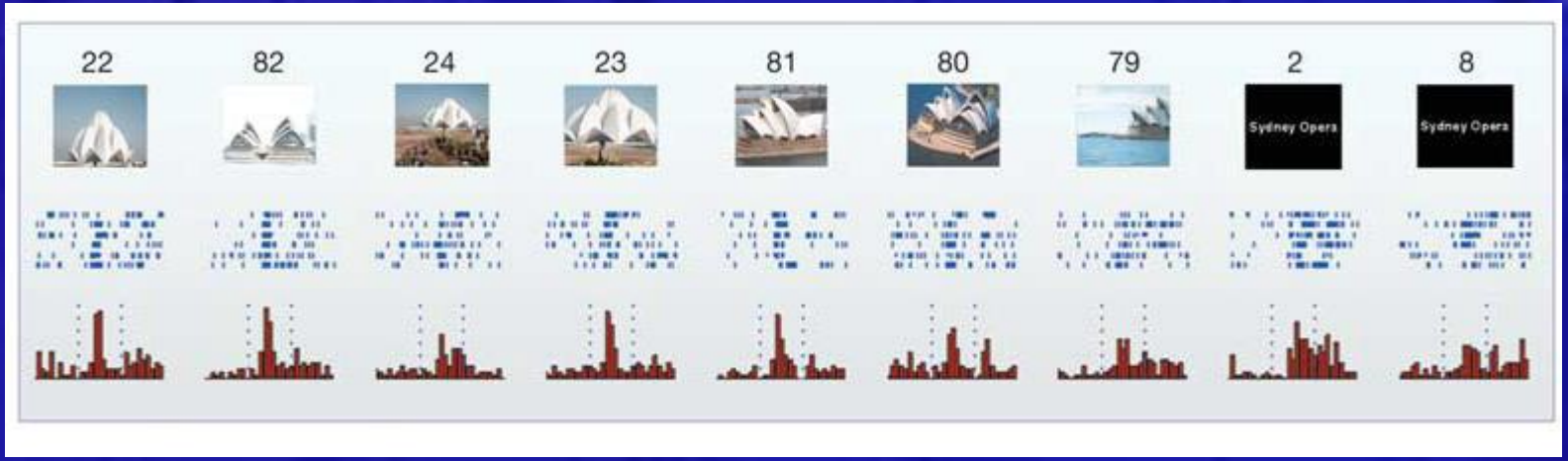



Quiroga et al., 2005

# «ОКНО» ВО ВНУТРЕННИЙ МИР



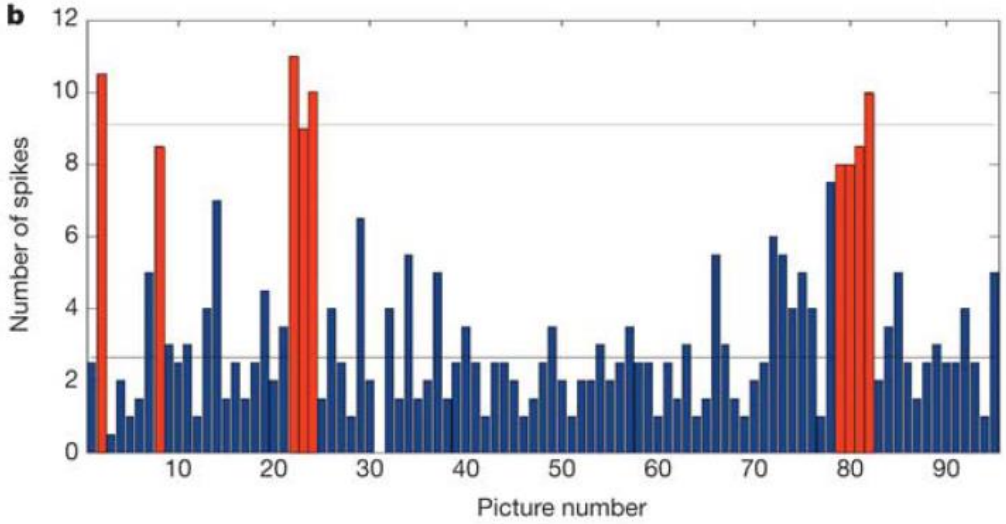
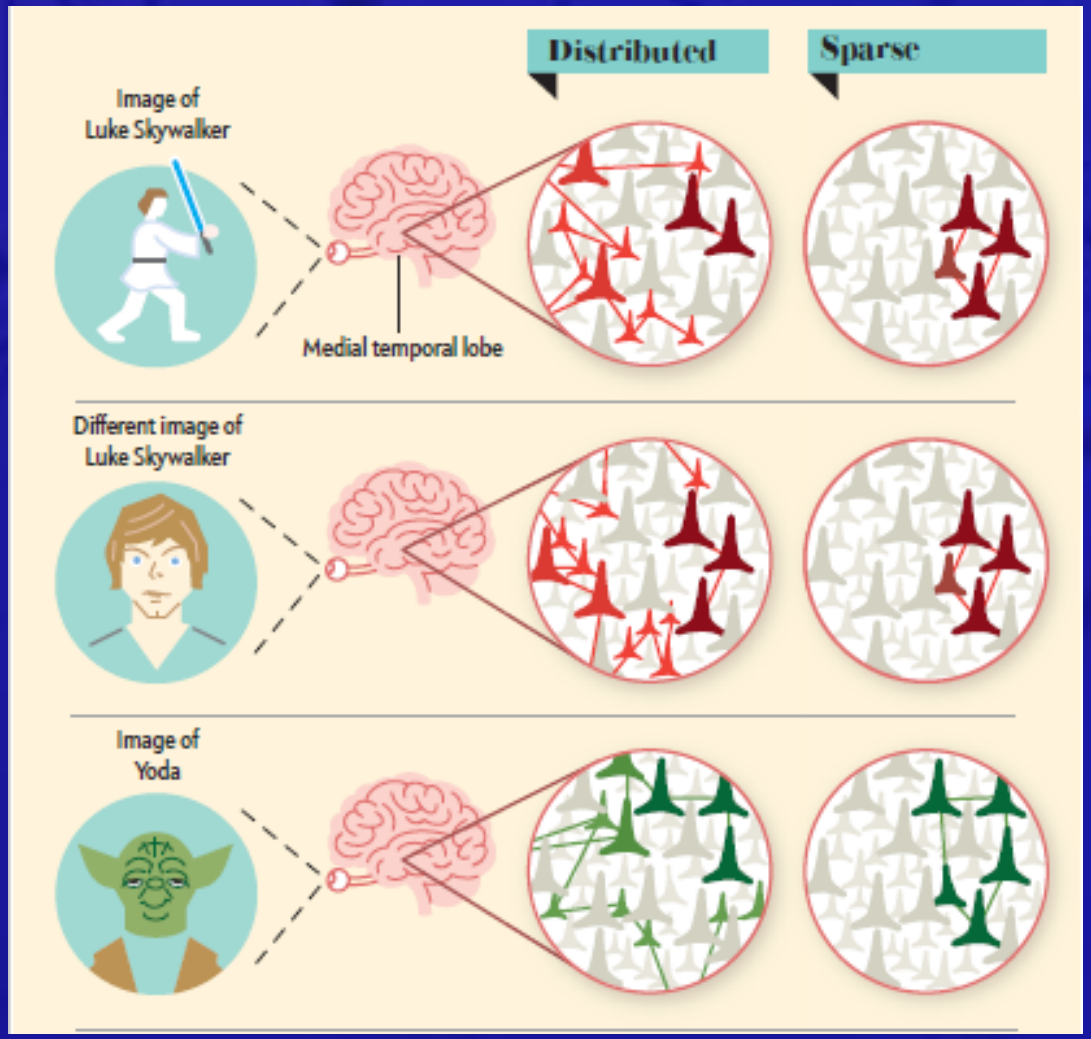
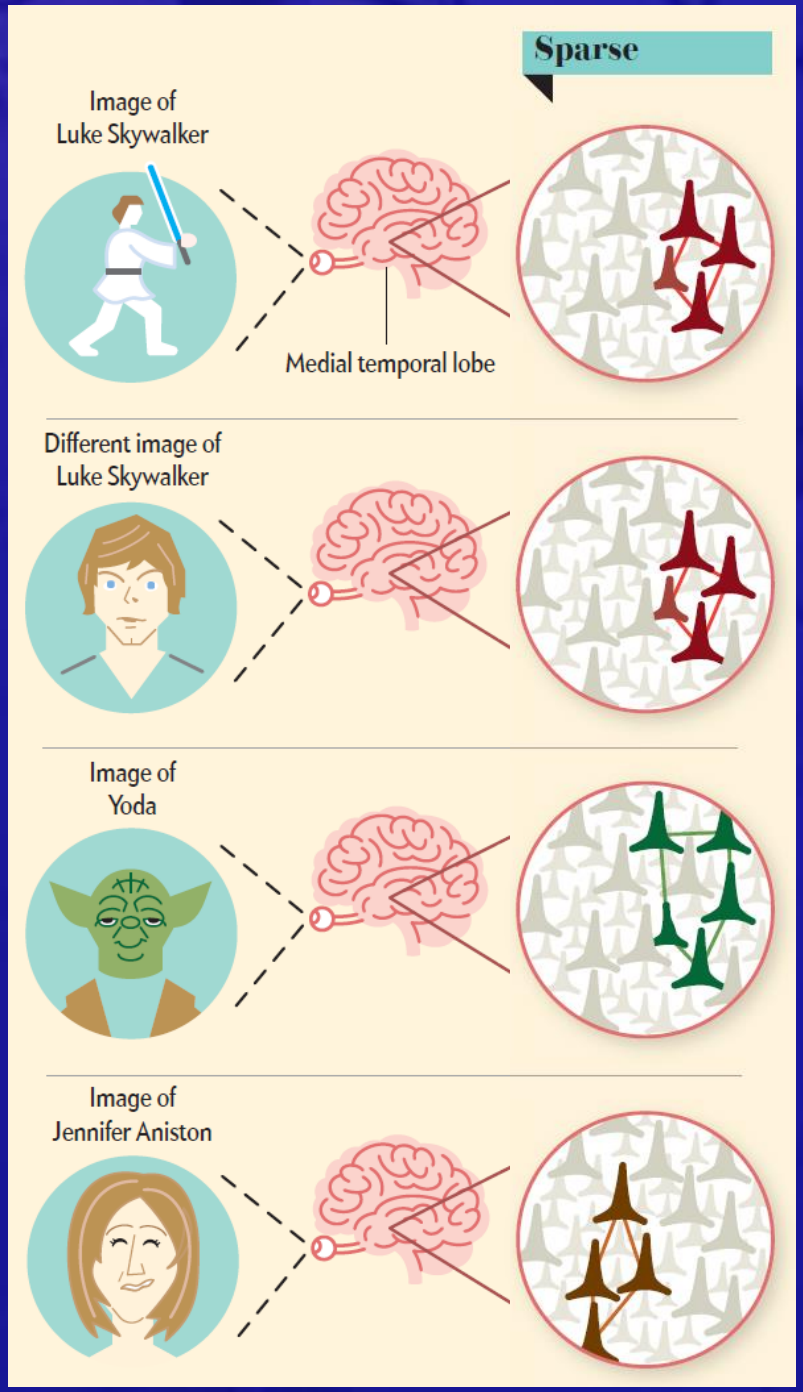




**Figure 3 | A multi-unit in the left anterior hippocampus that responds to photographs of the Sydney Opera House and the Baha'i Temple (conventions as in Fig. 1).** **a–c**, The patient identified all pictures of both of these buildings as the Sydney Opera, and we therefore considered them as a single landmark. This unit also responded to the presentation of the letter string 'Sydney Opera' (pictures no. 2 and 8), but not to other strings, such as 'Eiffel Tower' (picture no. 1). In contrast to the previous two figures, this unit had a higher baseline firing rate (2.64 spikes). The area under the red curve in **c** is 0.97.

# Специализация нейронов относительно опыта у человека




Quiroga et al., 2013



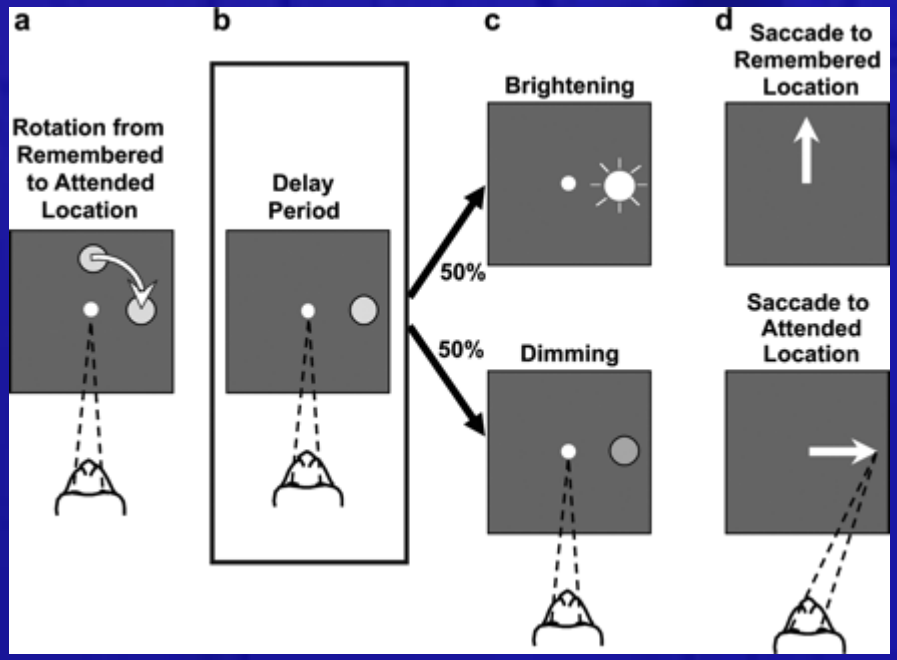

# Весь наш опыт – группы нейронов

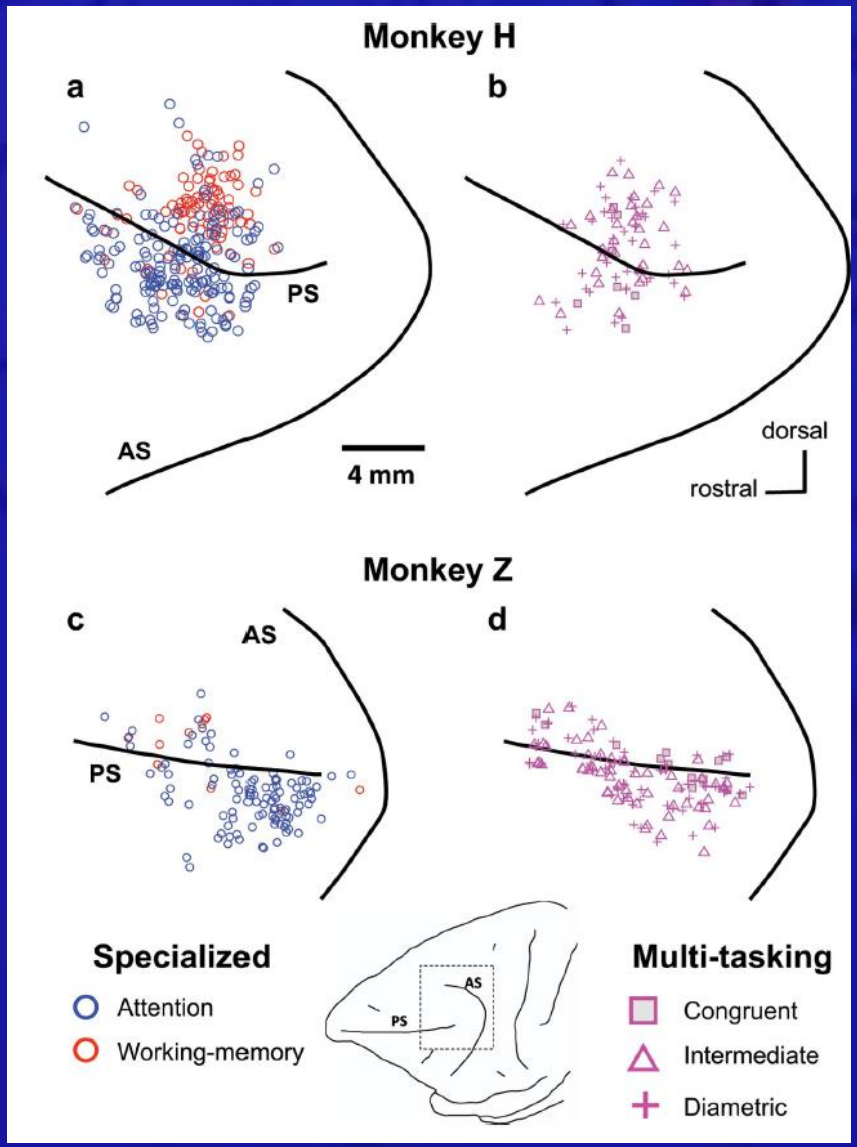

Quiroga et al., 2013

ЛЮБОЕ НАШЕ ПОВЕДЕНИЕ – СУТЬ АКТИВНОСТЬ НАШИХ НЕЙРОНОВ

МЫ – АКТИВНОСТЬ НАШИХ НЕЙРОНОВ

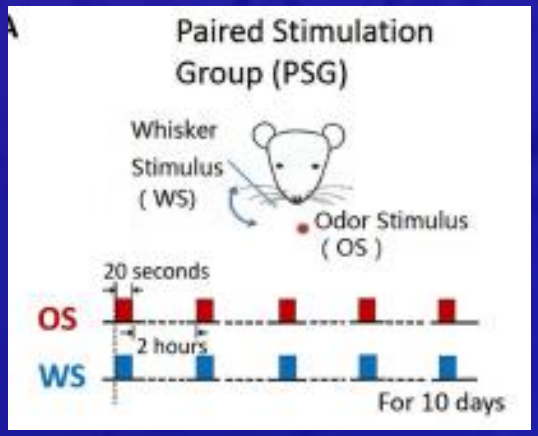
# Нейроны различной селективности перемешаны

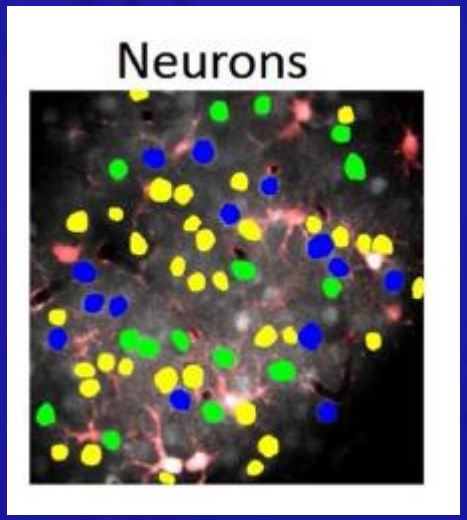


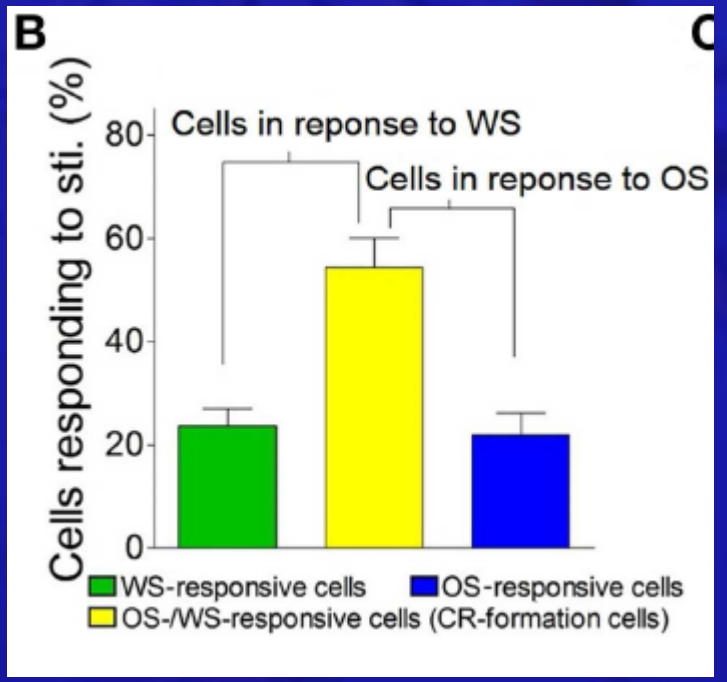




Messinger et al., 2009

# Изменения селективности нейронов при ассоциативном обучении




Wang et al., 2015

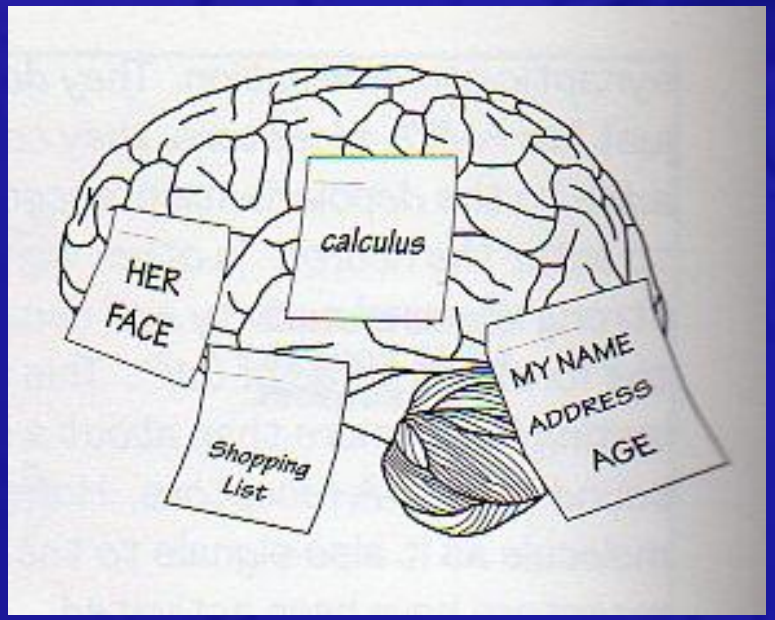
**Расположение высших нервных центров в коре головного мозга собак (схема по И. П. Павлову)**

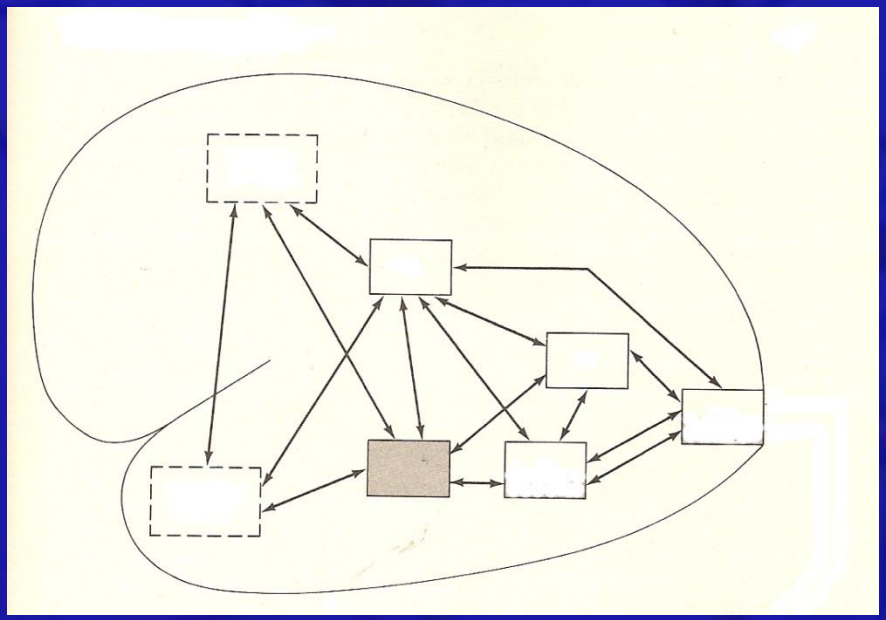
- Анализатор кожно-механических раздражений

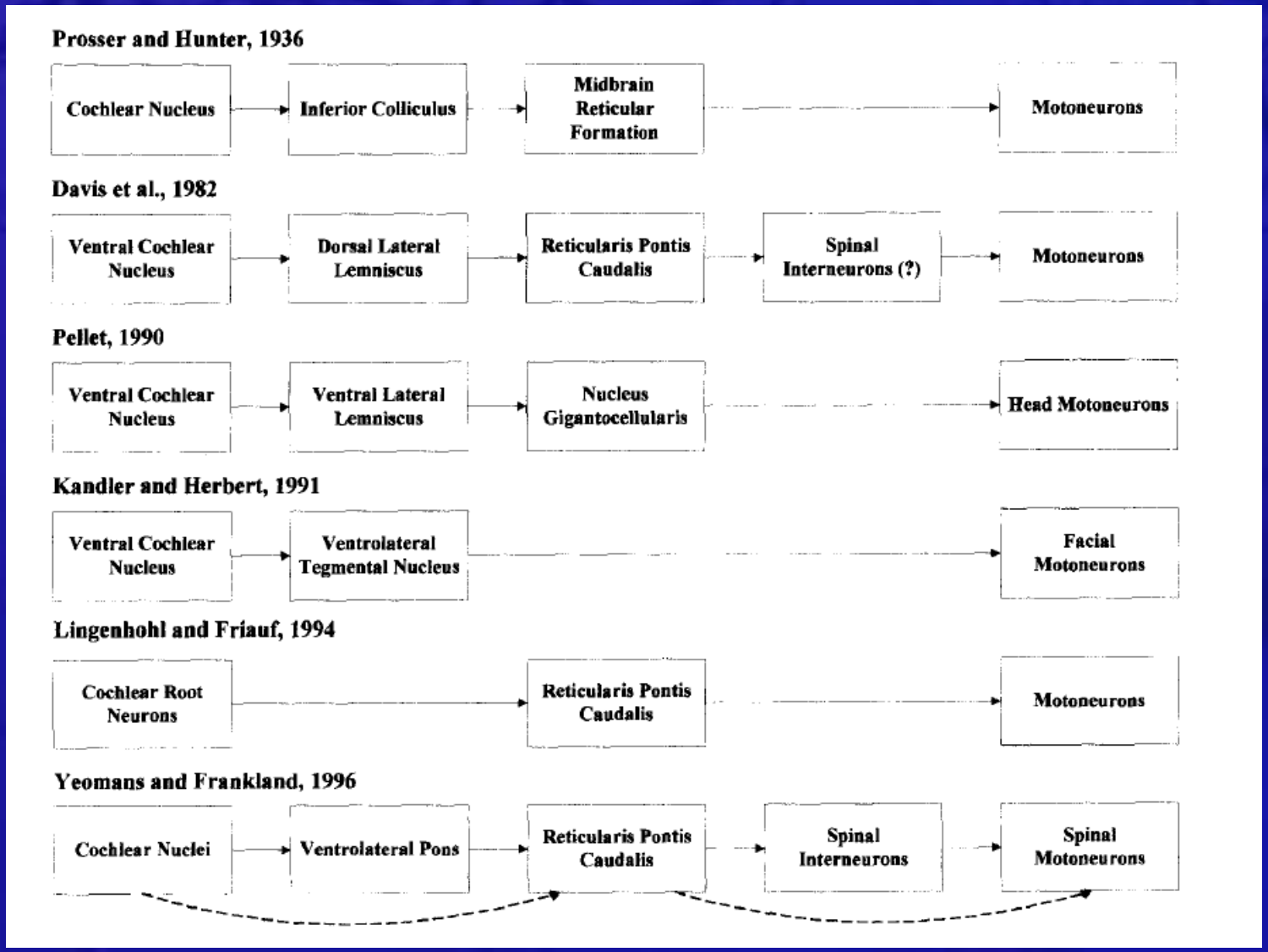

**Расположение высших нервных центров в коре головного мозга человека**

*«Высшая нервная деятельность слагается из деятель-*

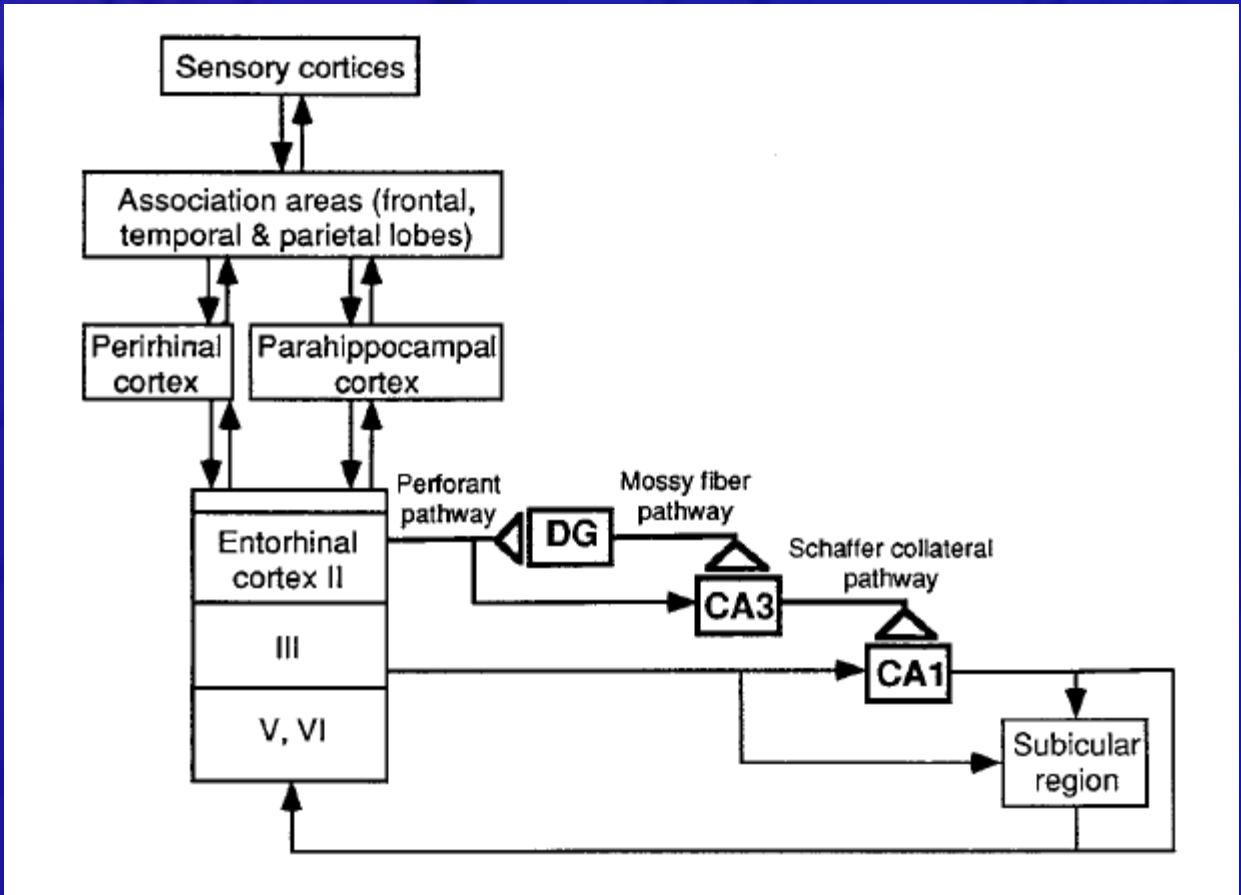
# Это принцип работы мозга?



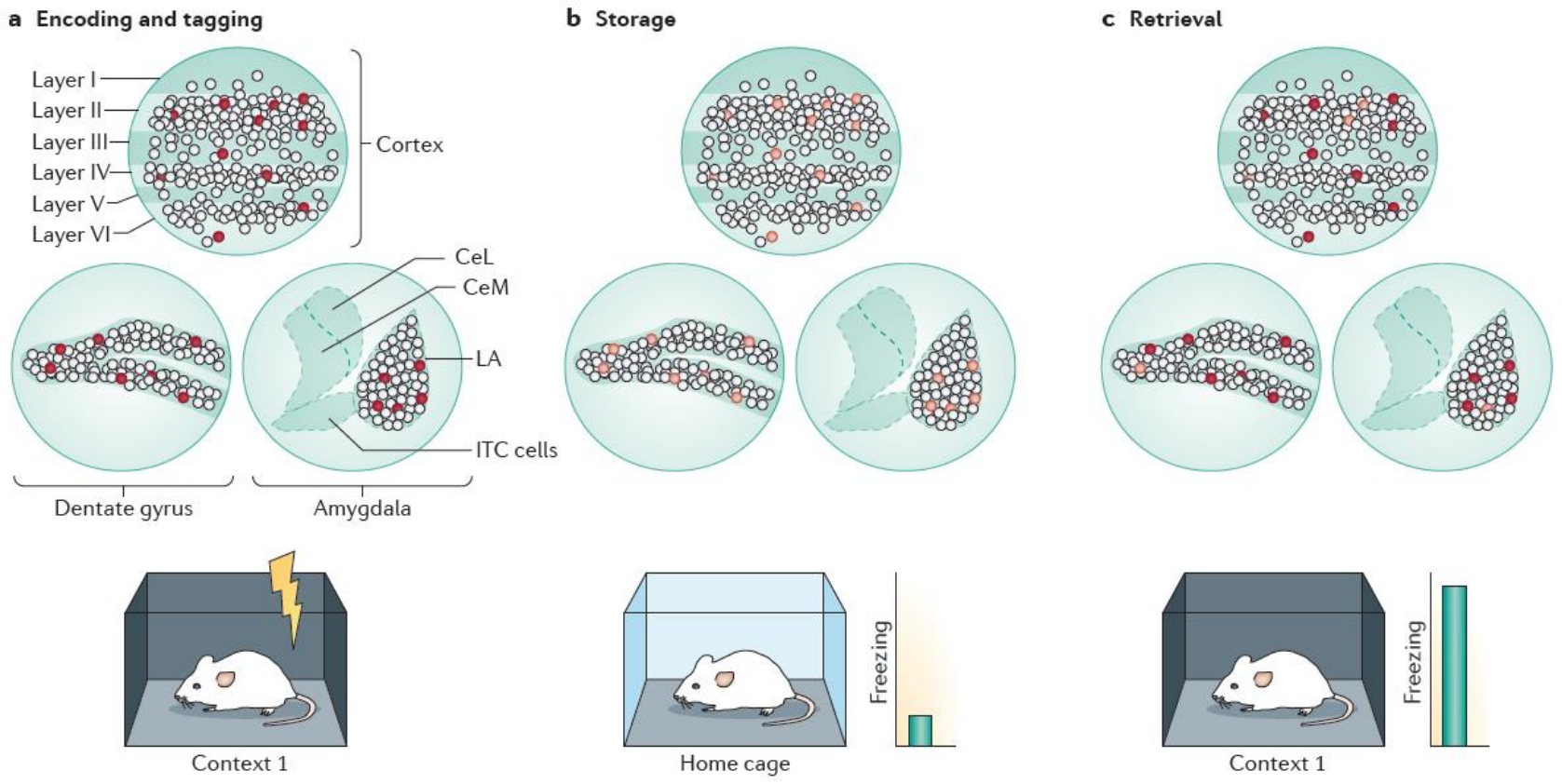





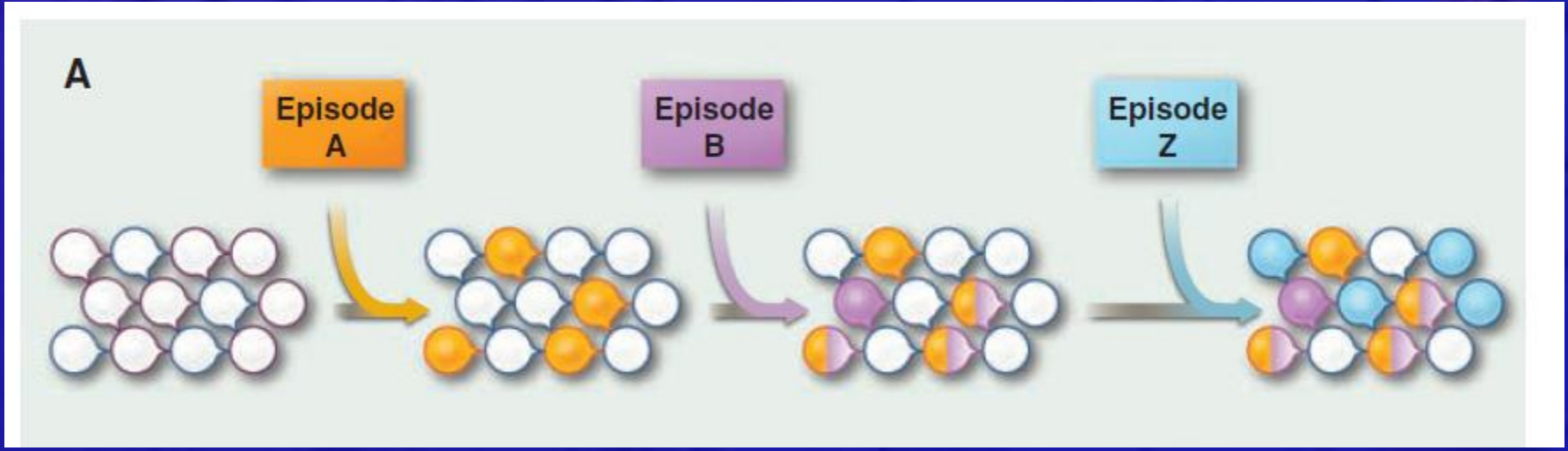

Yeomans & Frankland, 1996



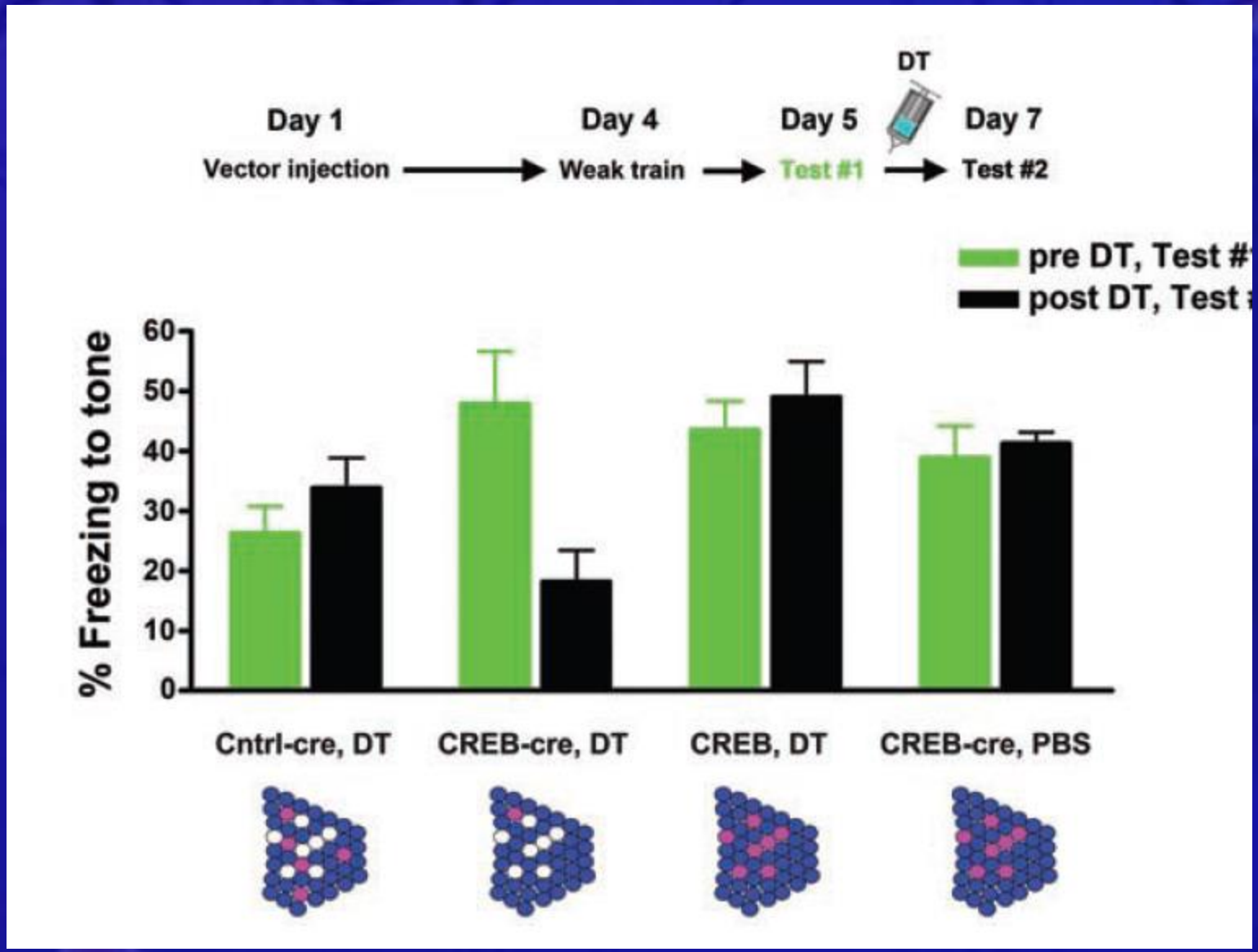

Chen & Tonegawa, 1997



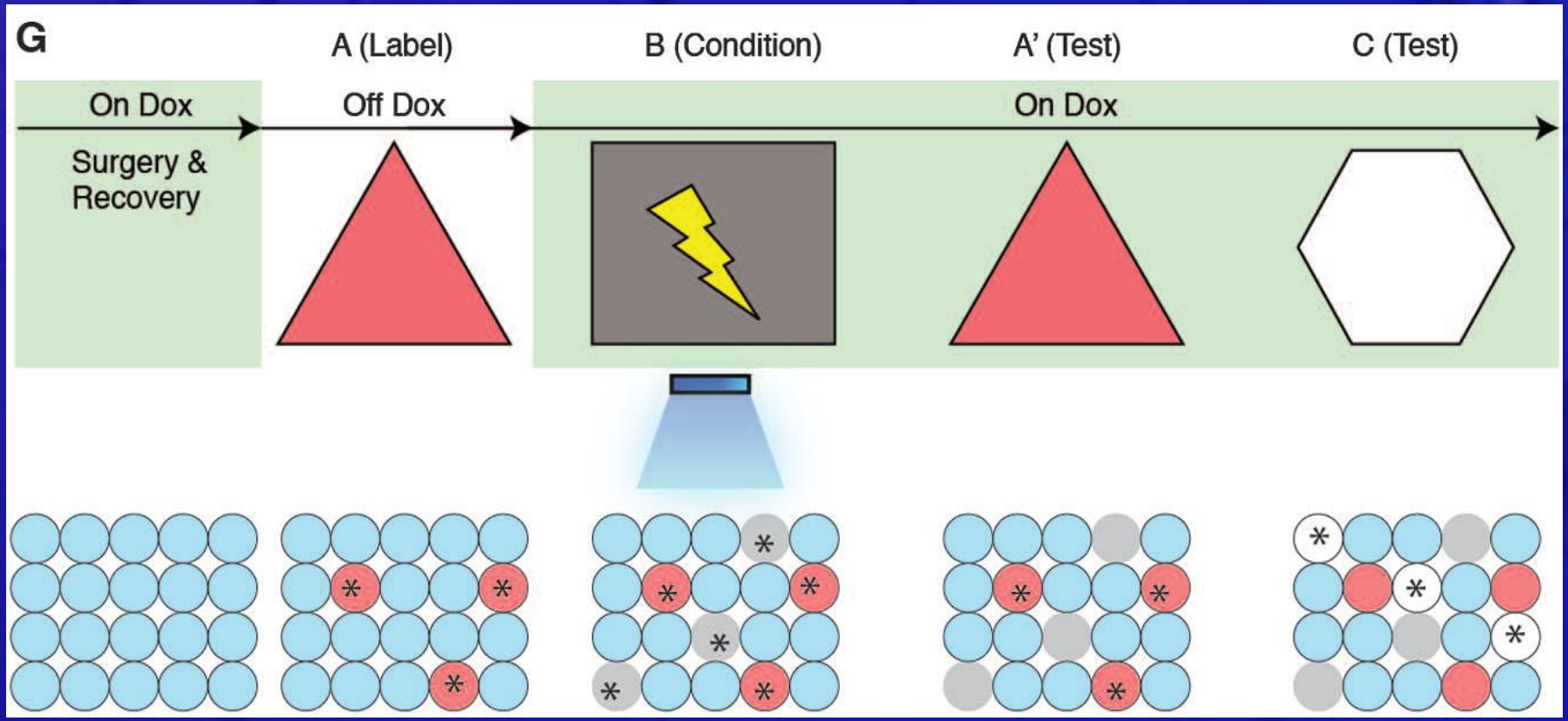

Josselyn et al., 2015



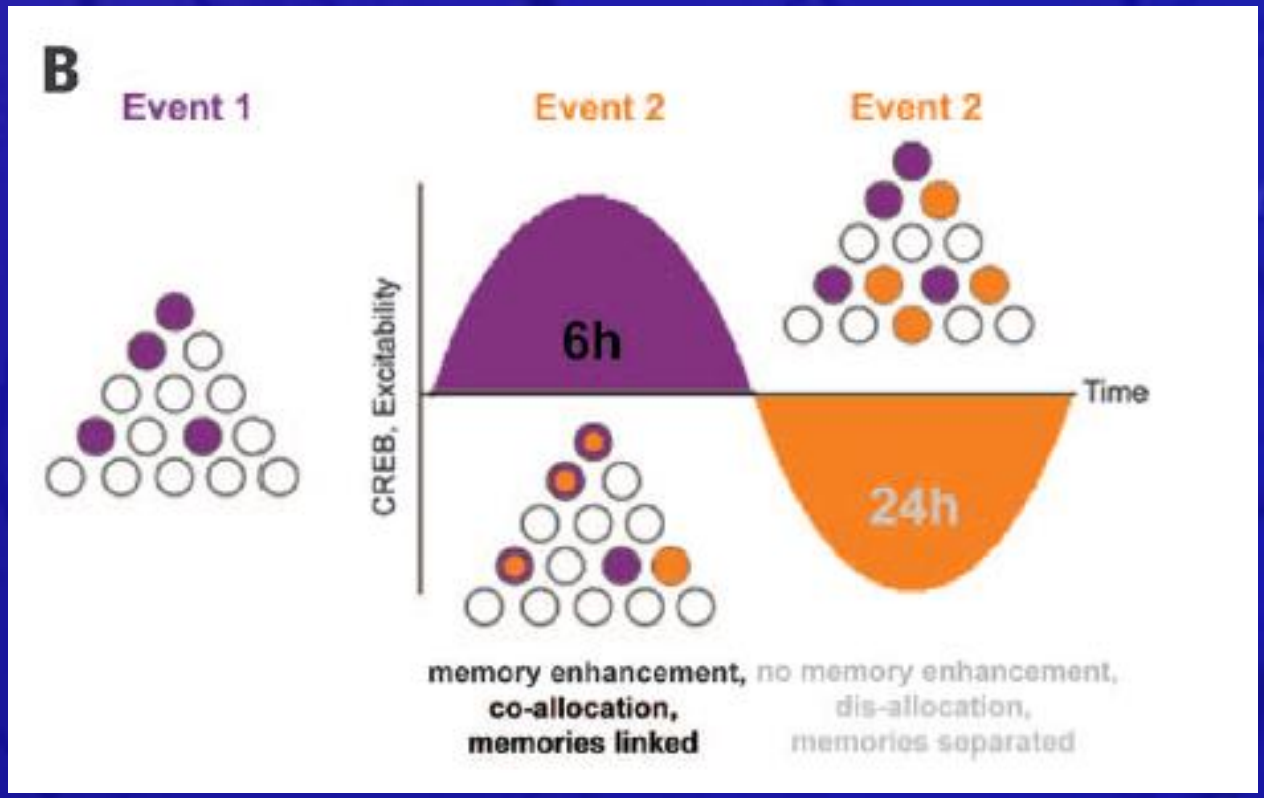

Silva et al., 2009




Han et al., 2009

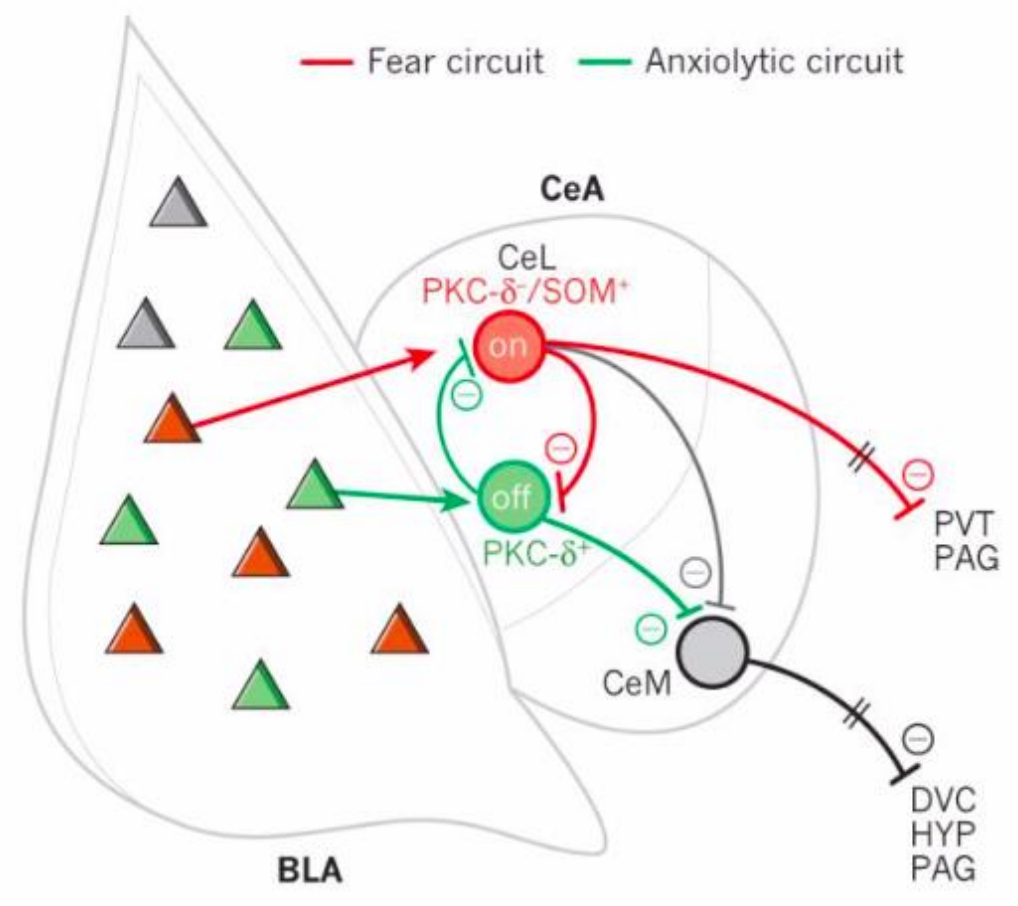



Ramirez et al., 2013




Rashid et al., 2016

**Figure 4**



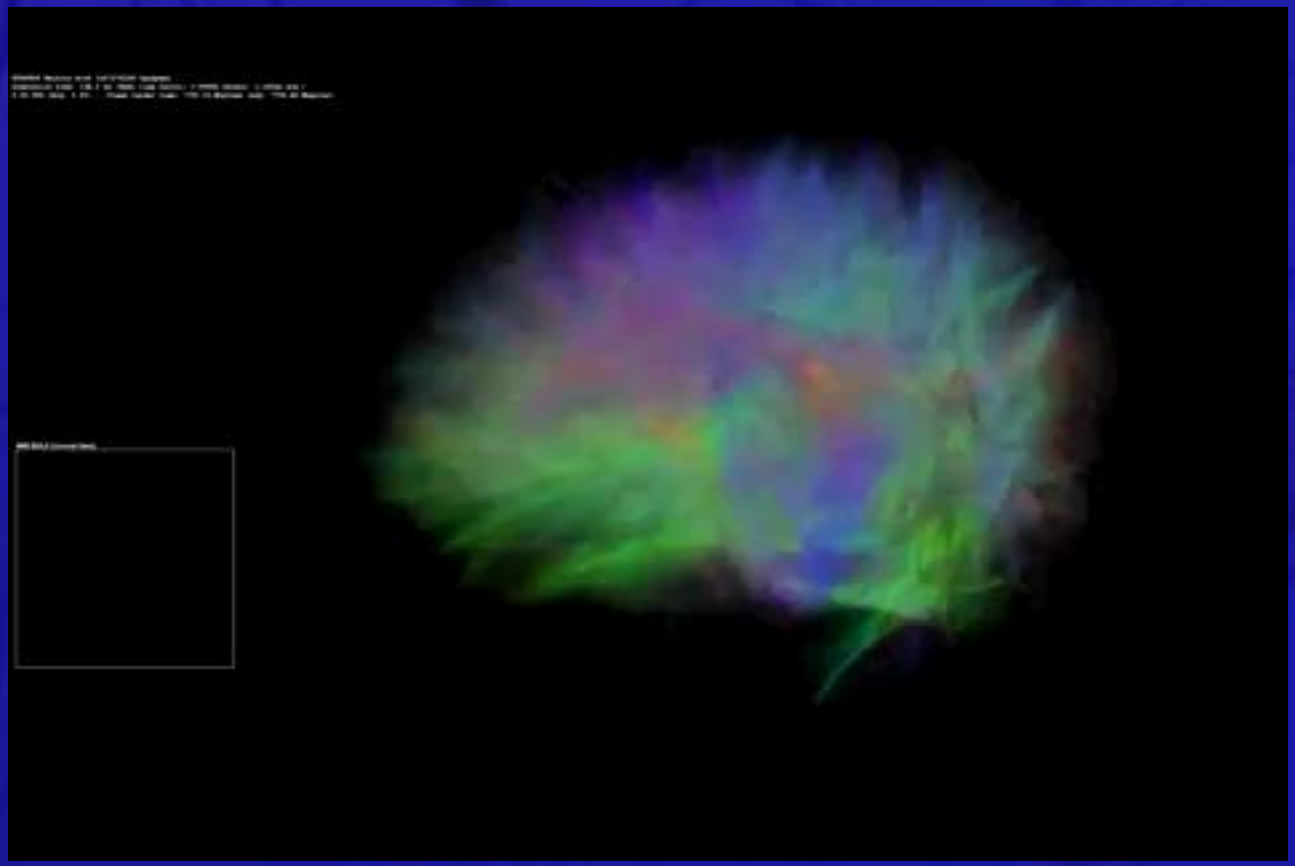

Open in a separate window

**Model of amygdala microcircuits that give rise to behaviour**

New findings in the amgydala have updated our understanding of these microcircuits. Different populations of basolateral complex of the amygdala (BLA) neurons are proposed to activate distinct populations of lateral central nucleus of the amygdala (CeL) neurons to either promote fear or reduce anxiety. CeM, medial central nucleus of the amygdala; DVC, dorsal vagal complex; PAG, periaqueductal grey; PKC, protein kinase C; PVT, paraventricular nucleus of the thalamus; HYP, hypothalamus; SOM, somatostatin.

**Janak & Tye, 2015**

# В любой момент времени можно выделить активную нейронную сеть



– Это же ясно, – сказал я. – Одинаковый уровень переработки информации. Реакция на уровне инстинкта.

Он вздохнул.

– Слова, – сказал он. – Правда, вы не сердитесь, но это же только слова. Это же мне не поможет. Мне надо искать следы разума во Вселенной, а я не знаю, что такое разум. А мне говорят о разных уровнях переработки информации.

(*А. Стругацкий, Б. Стругацкий.* Полдень, XXII век)

In humans, intelligence is commonly defined as the sum of mental capacities such as abstract thinking, understanding, communication, reasoning, learning and memory formation, action planning, and problem solving.

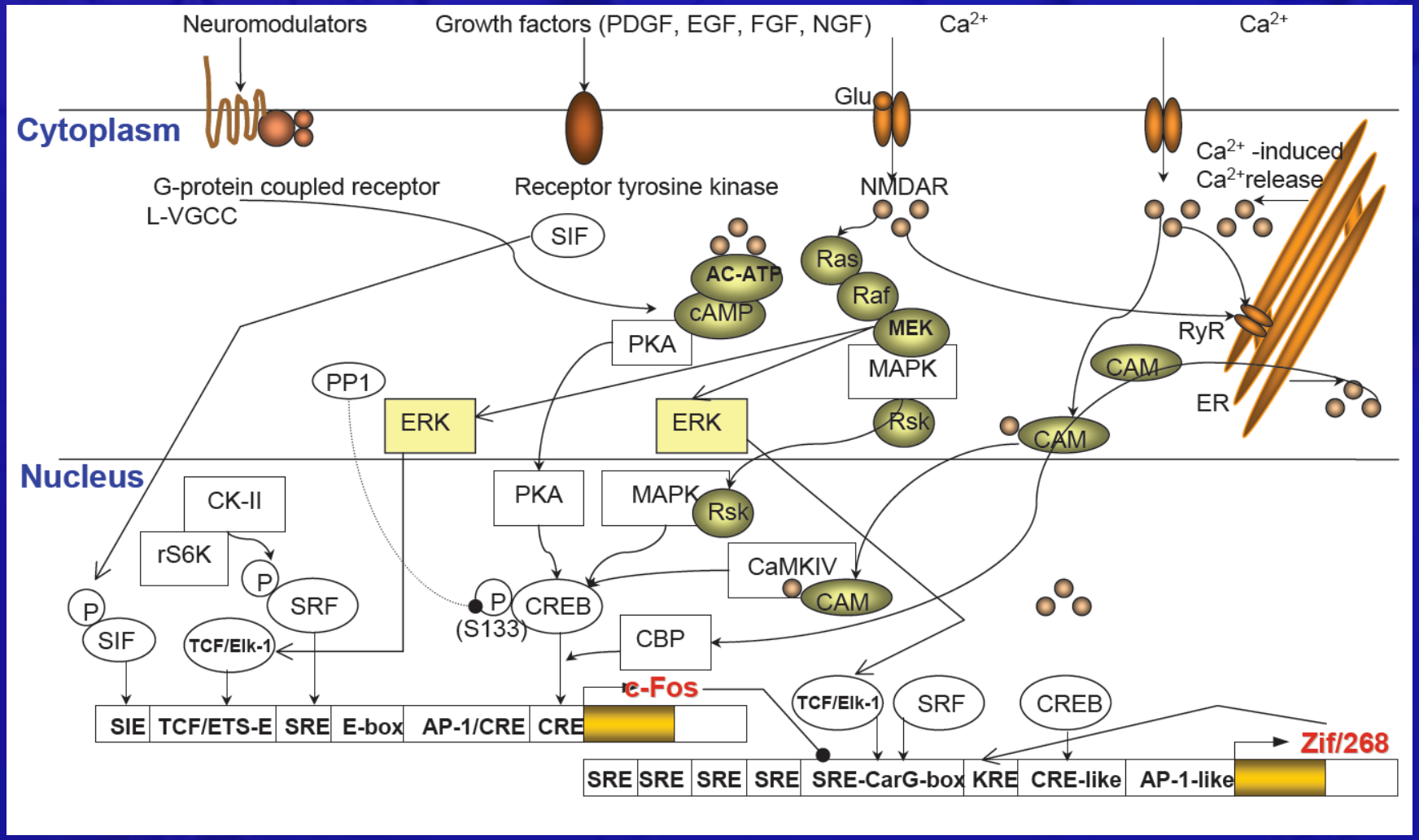
**Roth & Dicke, 2012**

There is a popular distinction proposed by Cattell (1963) between fluid and crystallized intelligence, where **fluid intelligence** is considered to be closely related to general intelligence “g” (Spearman, 1904) as a broad ability to reason, form concepts, and solve problems using **unfamiliar information** or novel procedures, while **crystallized intelligence** includes the breadth and depth of a person’s **acquired knowledge**, the ability to communicate one’s knowledge and to reason using previously learned experiences.

- **Какой опыт уже есть**
- **Как этот опыт реактивируется и реорганизуется в новой ситуации**

# Как происходит обучение

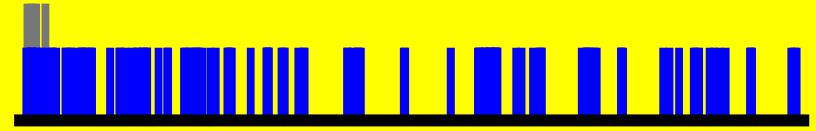
# Каскады молекулярных событий внутри нейронов



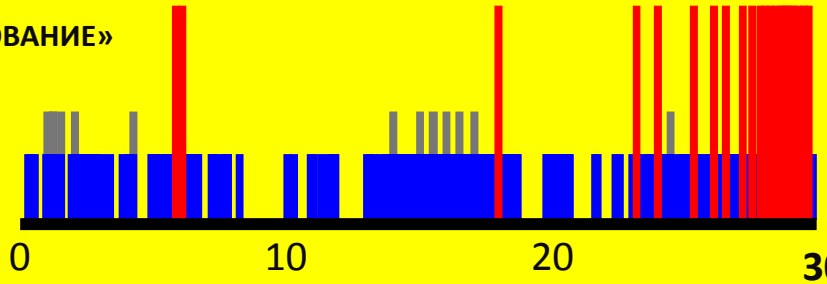
# Этапы научения

## ПОВЕДЕНЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ

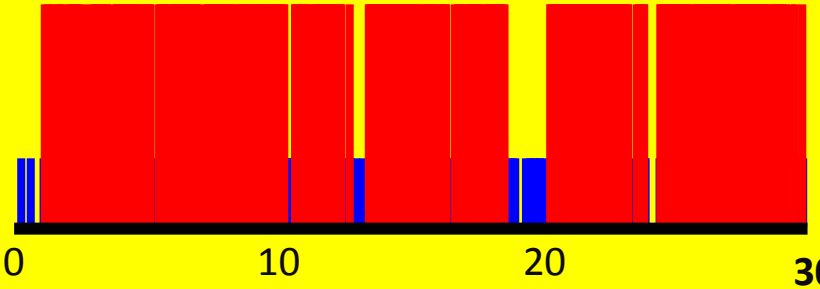
«РАССОГЛАСОВАНИЕ»



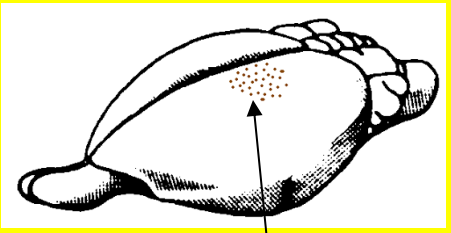

«ФОРМИРОВАНИЕ»



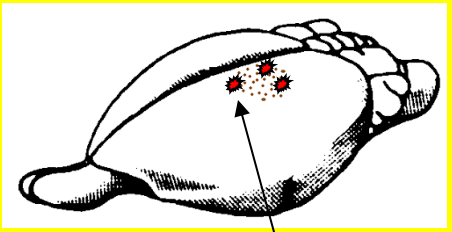

«РЕАЛИЗАЦИЯ»



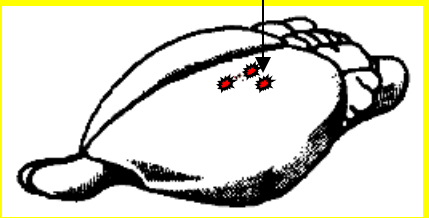

## НЕЙРОНАЛЬНЫЙ и МОЛЕКУЛЯРНЫЙ УРОВНИ



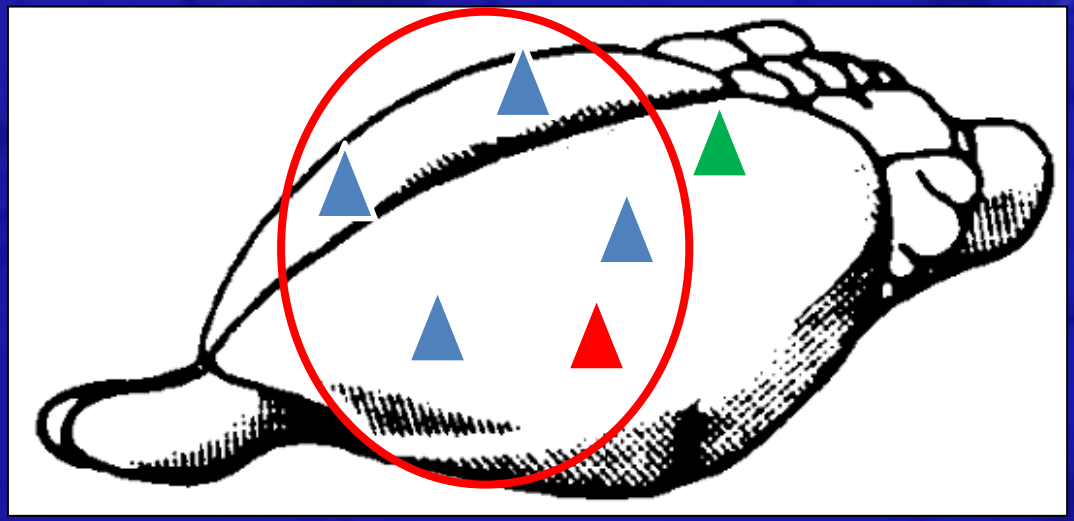
нейроны, экспрессирующие ген *c-fos*



нейроны, специализированные относительно нажатия на педаль



# Как происходит обучение



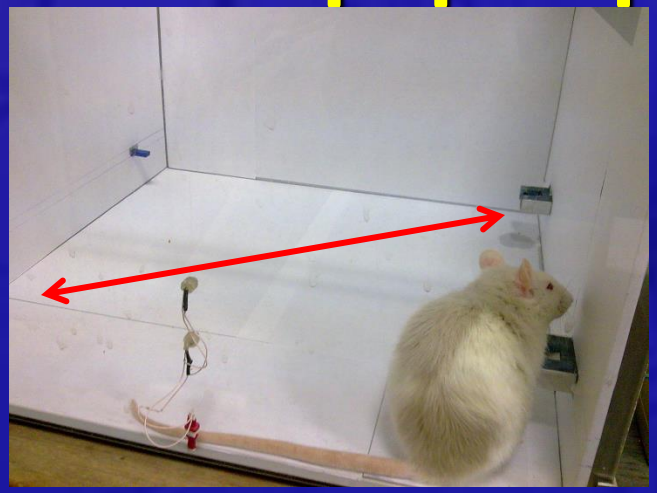
# Обучение второй стороне после обучения первой

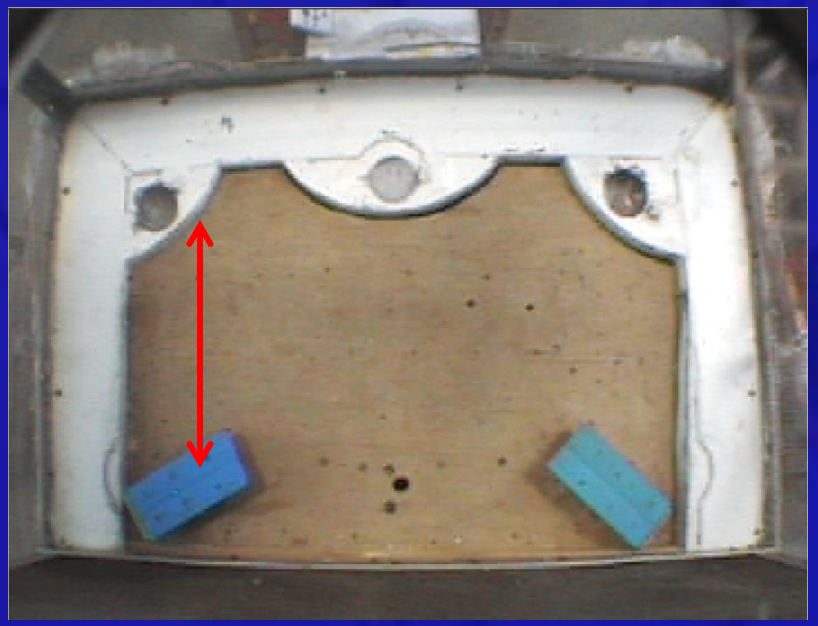
эффективная сторона

неэффективная сторона

Как выглядят эти нейронные группы зависит от того, каким образом происходило обучение

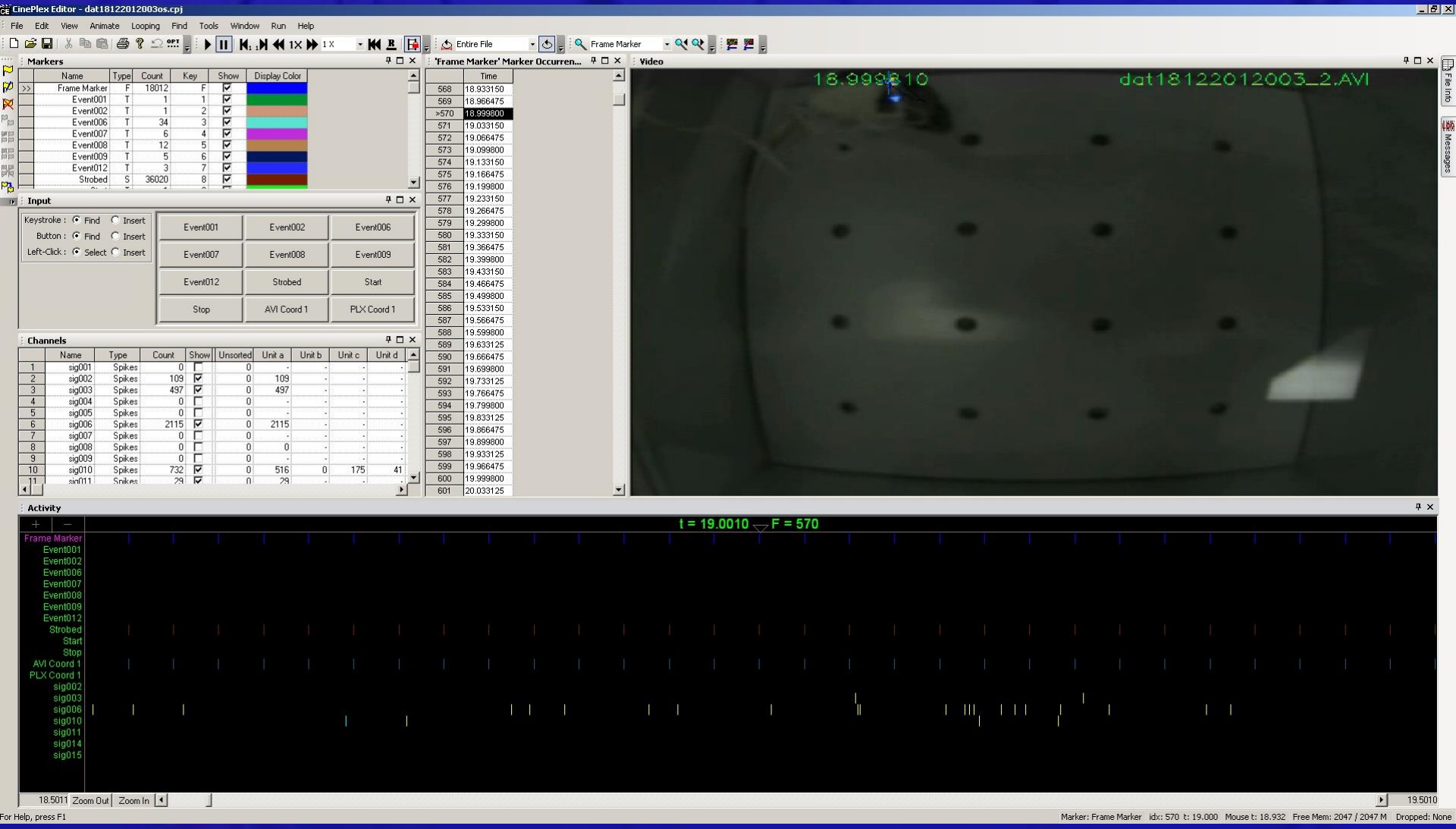
# Качественно разный индивидуальный опыт формируем последовательно

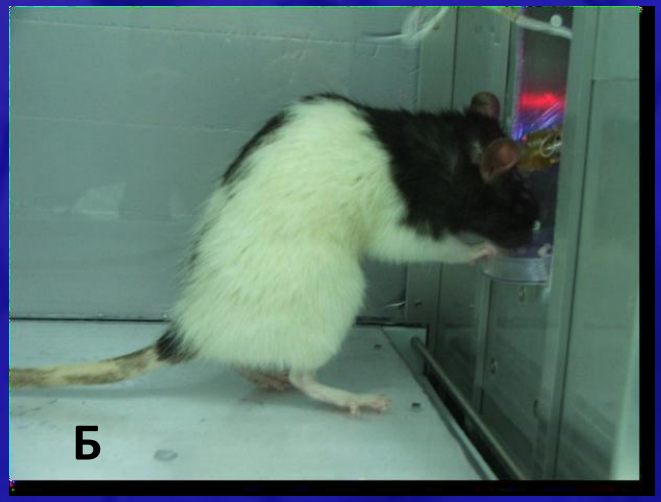




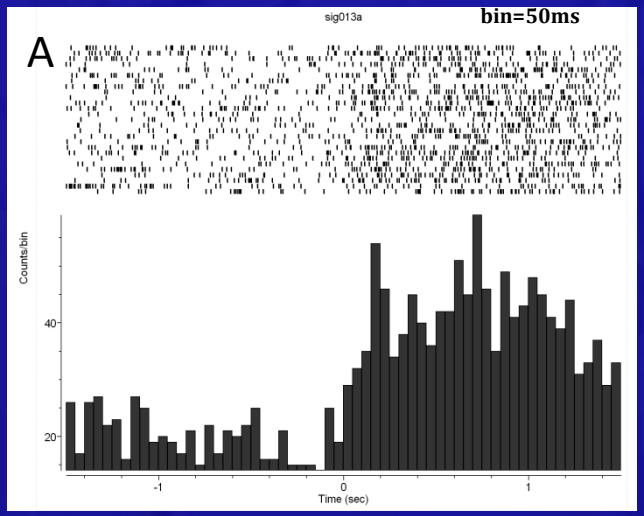
При приобретении нового опыта активируются нейроны уже существующего опыта

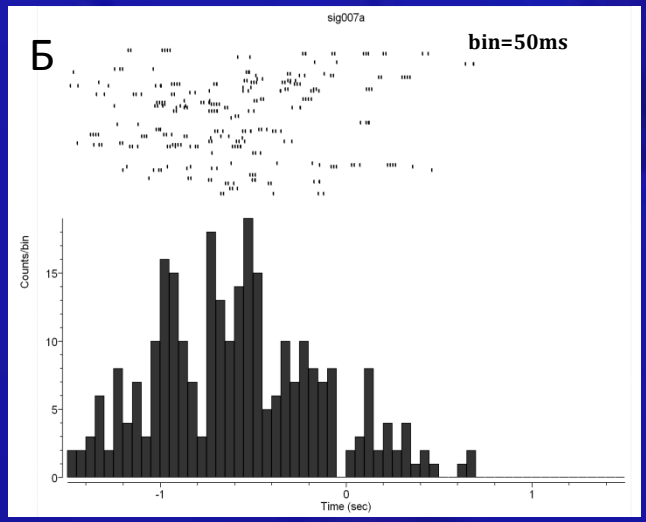
# Поведение и активность мозга





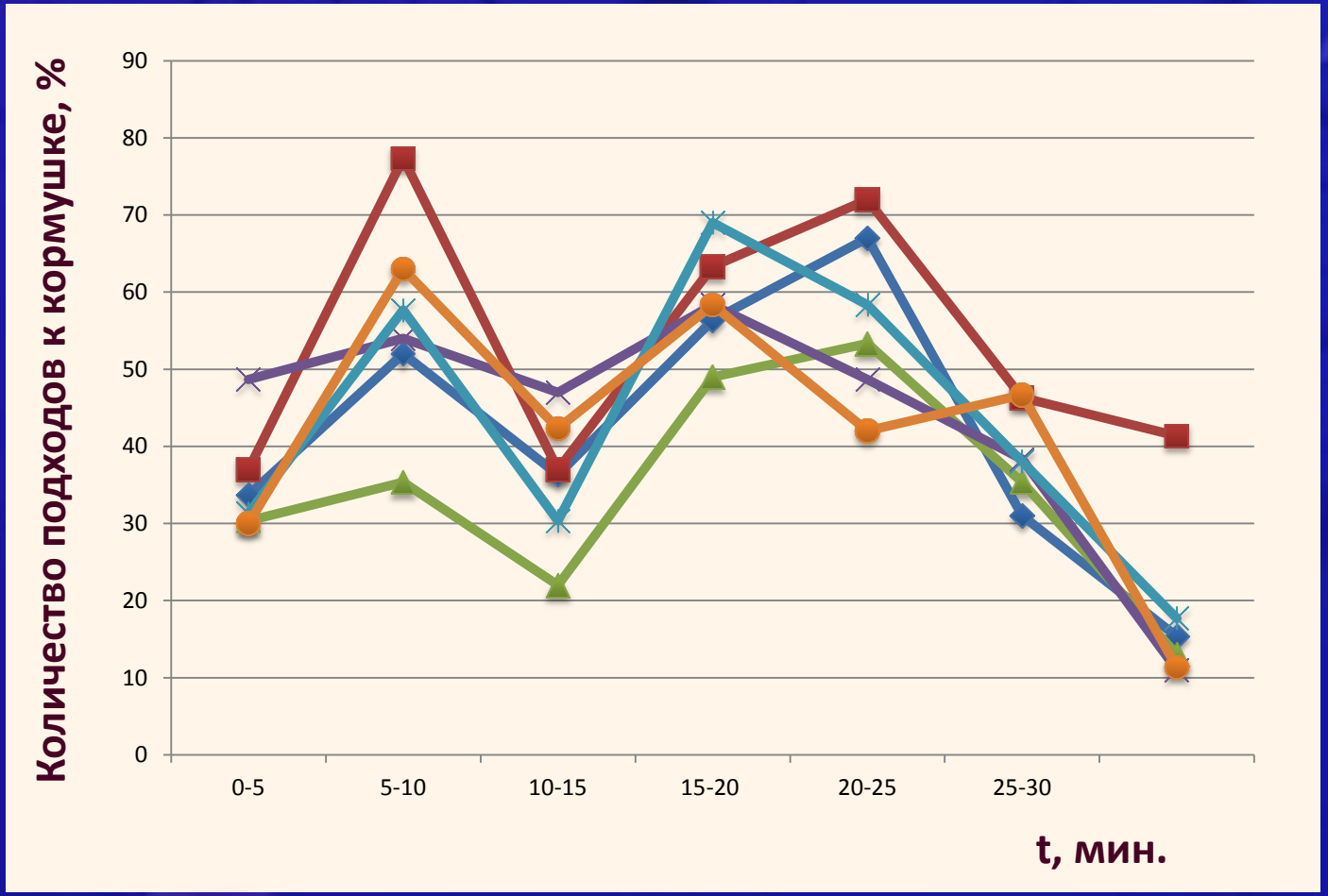

# Инструментальное обучение




Нейроны специфически активные относительно:
кормушки (А); левой педали (Б). 0-начало действия.

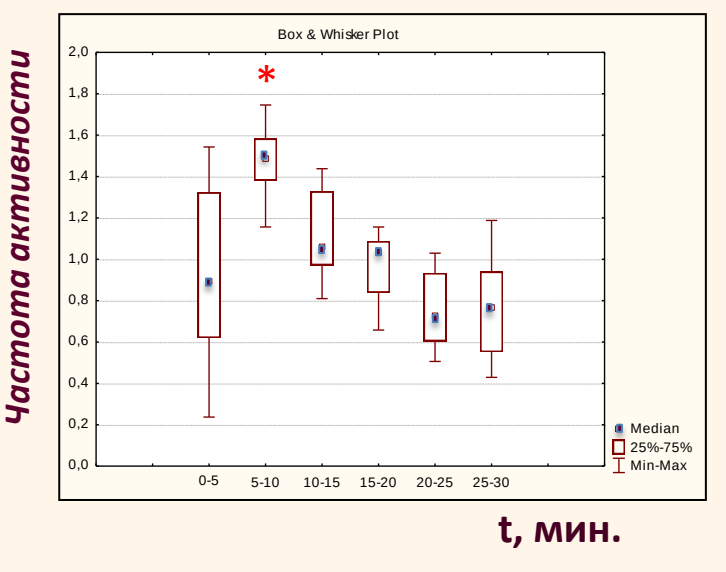
# Индивидуальные структуры поведения (обучение нажатию на вторую педаль)



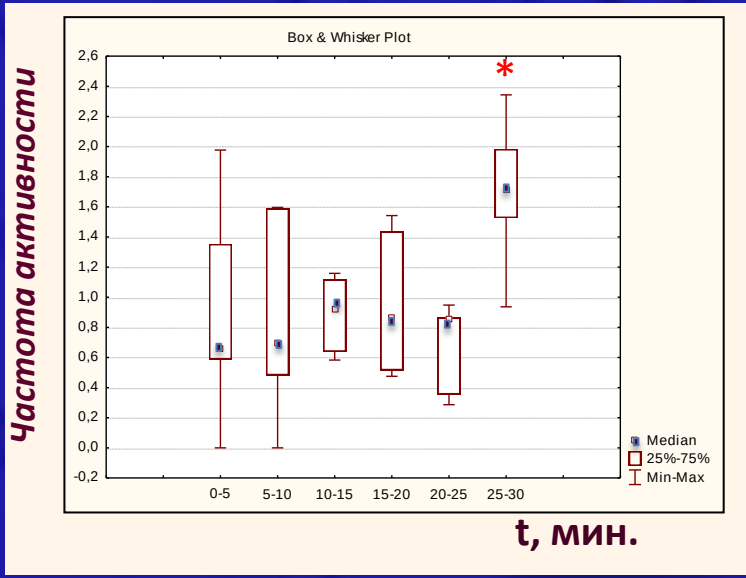


Обнаруживается сходство поведенческих паттернов, связанных с реактивацией существующей памяти при формировании и реализации навыков

# Структура нейронной активности




Специализированные относительно пищевого поведения нейроны

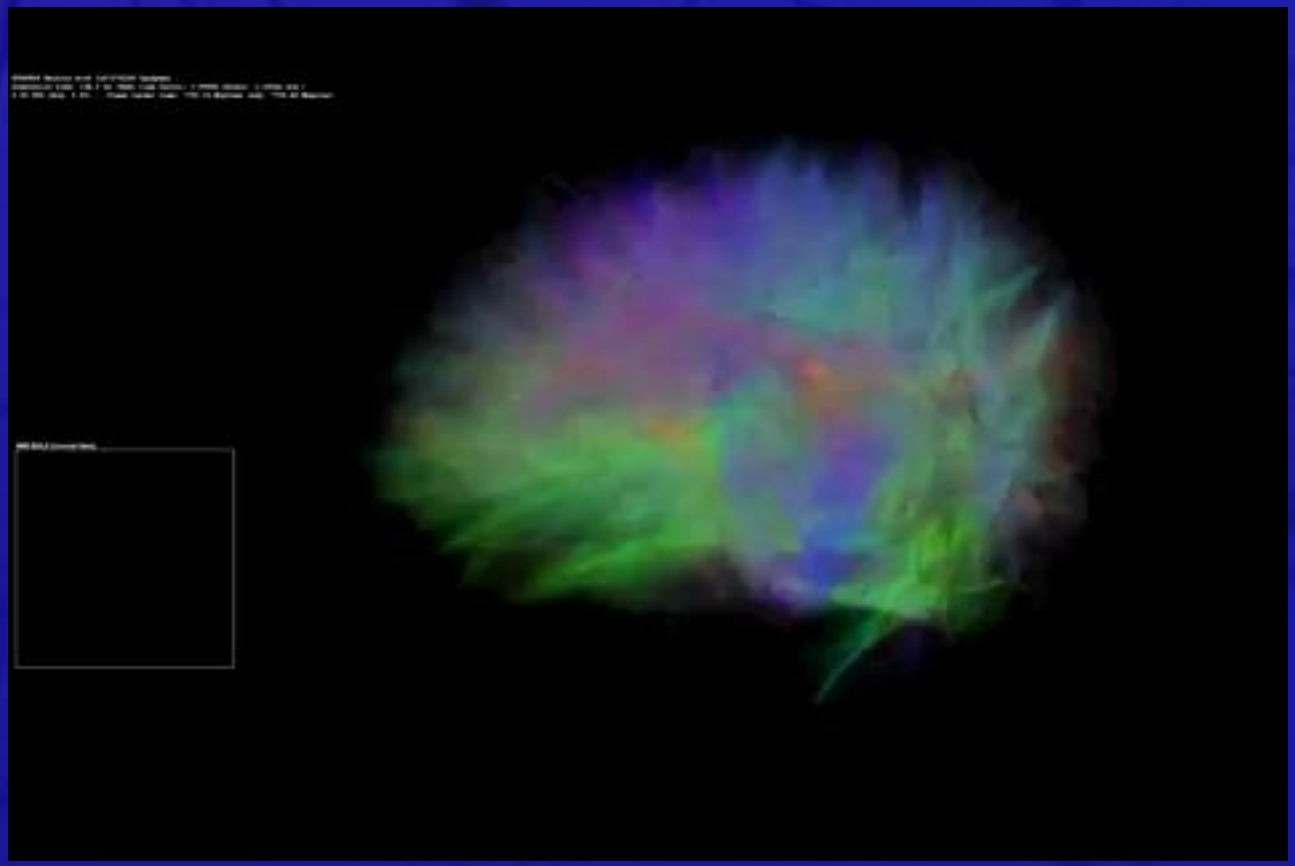



Неспециализированные нейроны

**Период обучения с 5 по 10 мин. характеризуется увеличением частоты активности у нейронов, которые демонстрировали селективность относительно задачи**

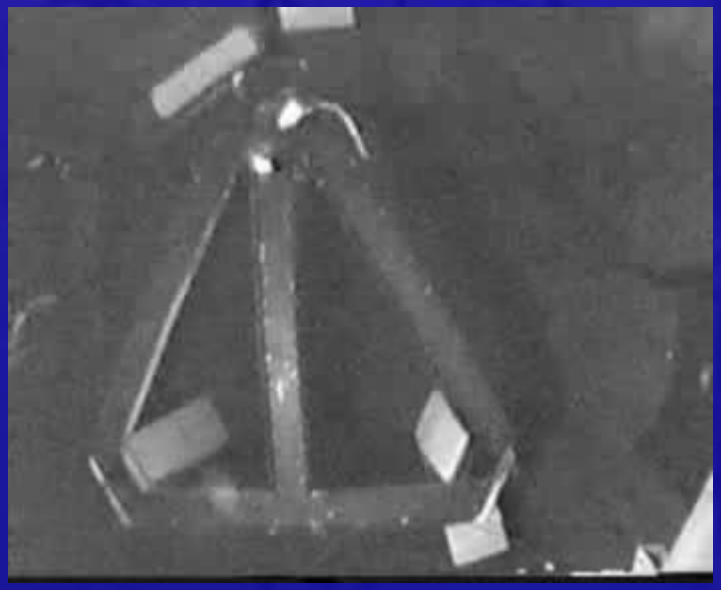
Точные сценарии процессов, способствующих быстрому приобретению новых навыков, остаются неизвестными.

# В любой момент времени можно выделить активную нейронную сеть

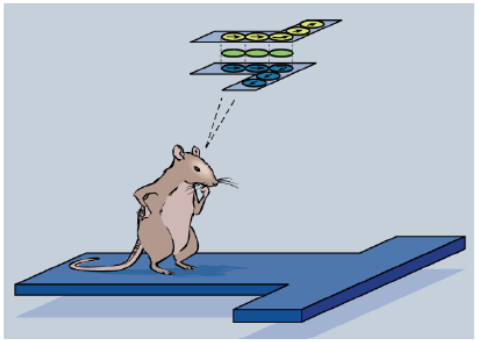


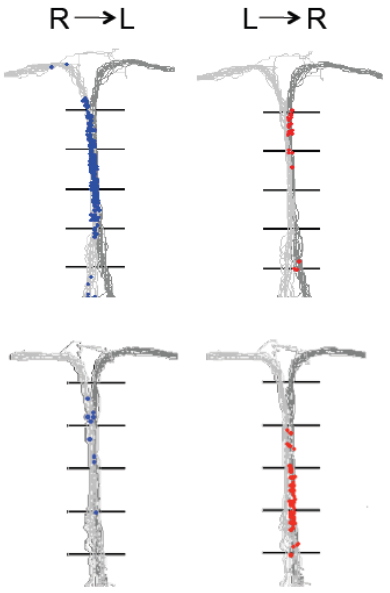
# Мысленное воспоминание – реактивация определенных нейронов

# «Продумывание» вариантов при принятии решения



Hippocampal place cells represent spatial episodes (routes)

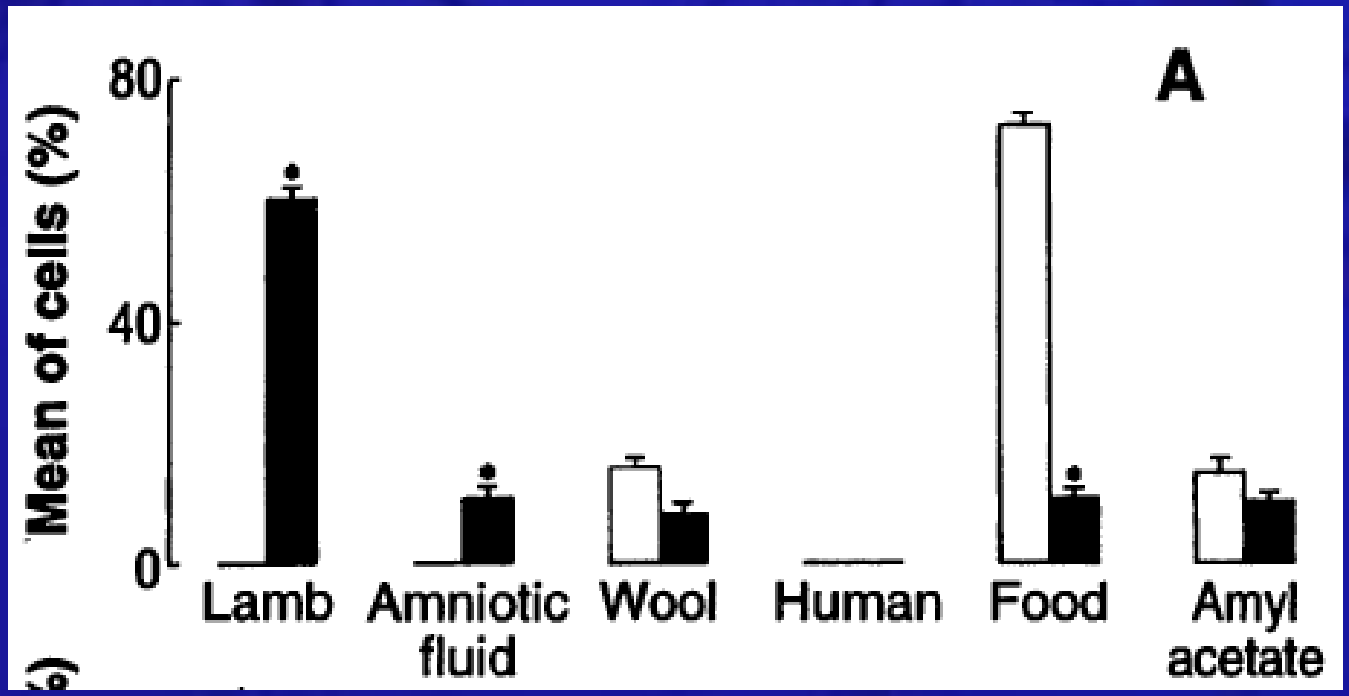






Wood et al., *Neuron* 27:623 2000

- Понятие разума (интеллекта) связано с возможностью оперирования «моделями» в уме
- Эти «модели» - «проигрывание» будущих взаимодействий
- «Модели» основаны на опыте, но в момент реактивации нейронные группы реорганизуются

# Активность нейронных групп складывается в процессе формирования индивидуального опыта



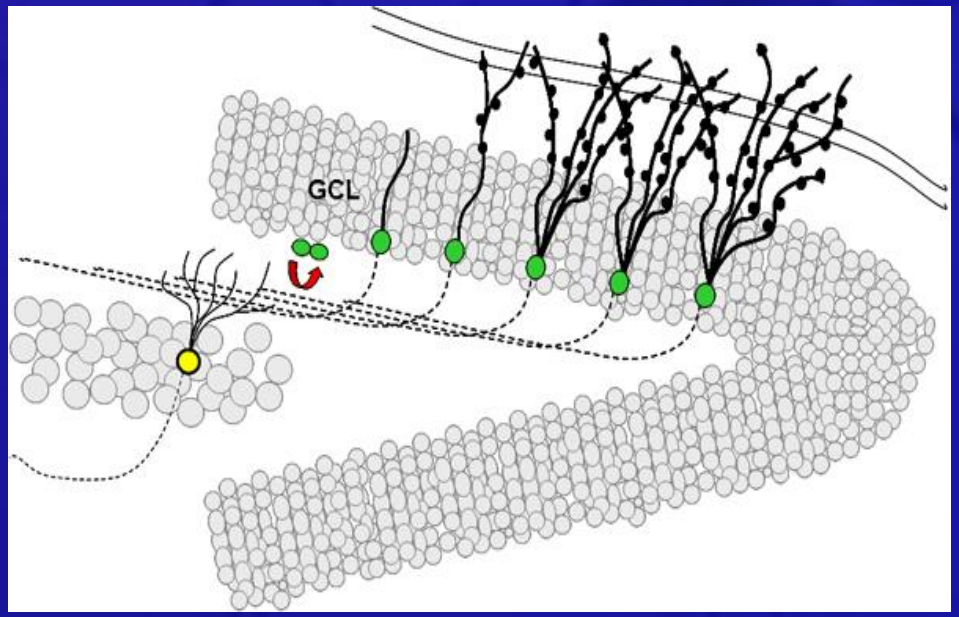

Kendrick et al., 1992

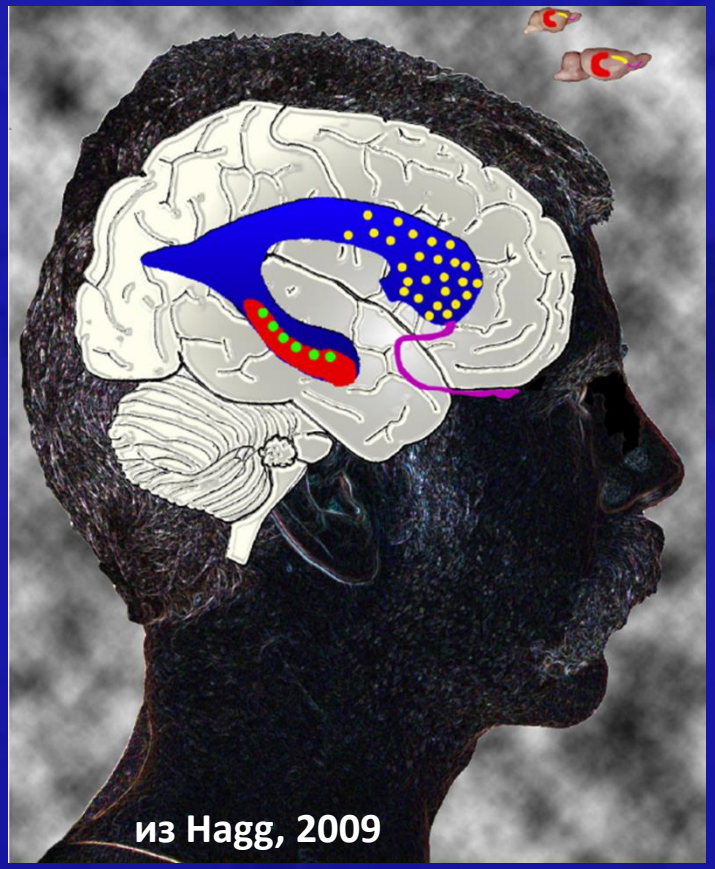
# Рабочая память (кратковременная память) – поддержание активности нейронной группы

- травмы
- судороги

РАЗВИТИЕ АМНЕЗИИ

# Источник новых нейронов – молчащие и новые клетки

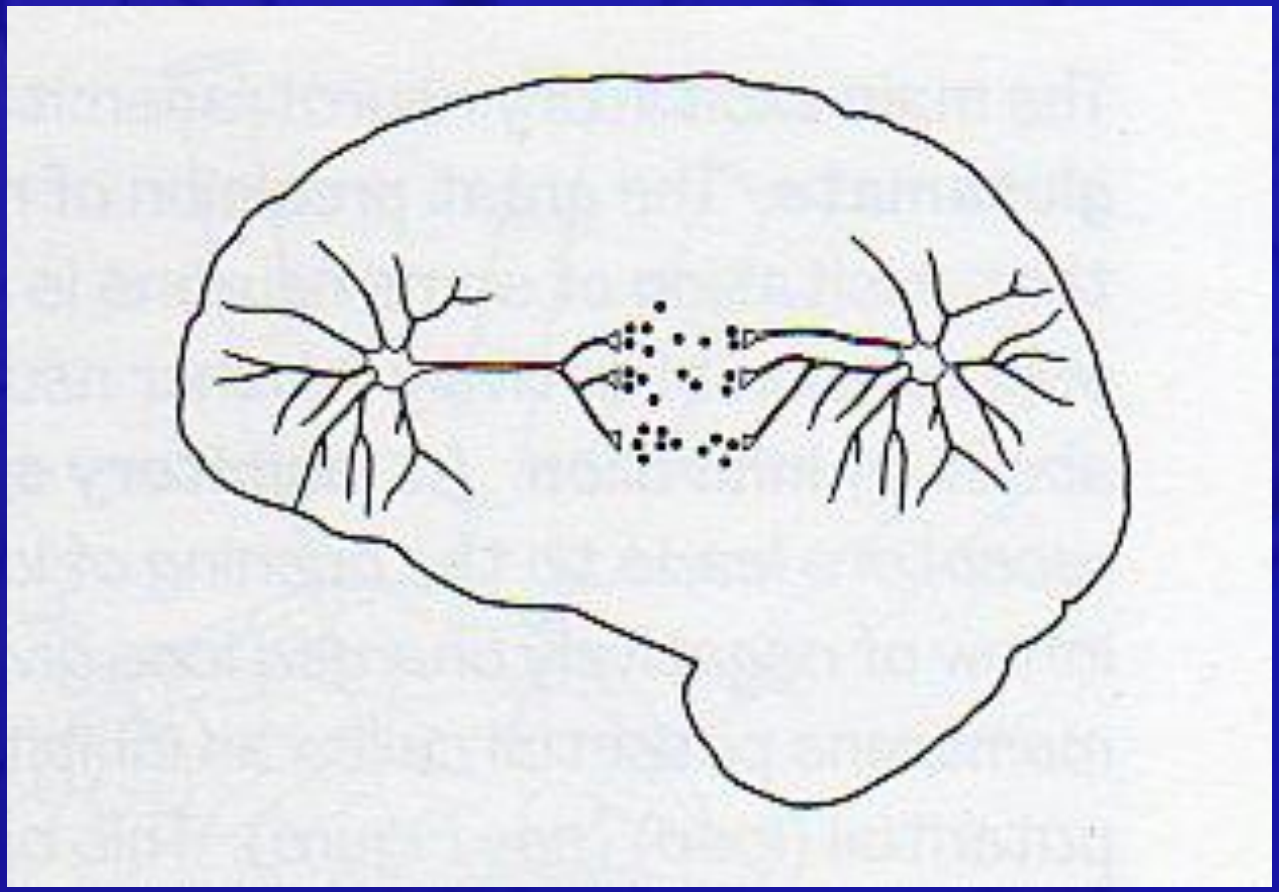


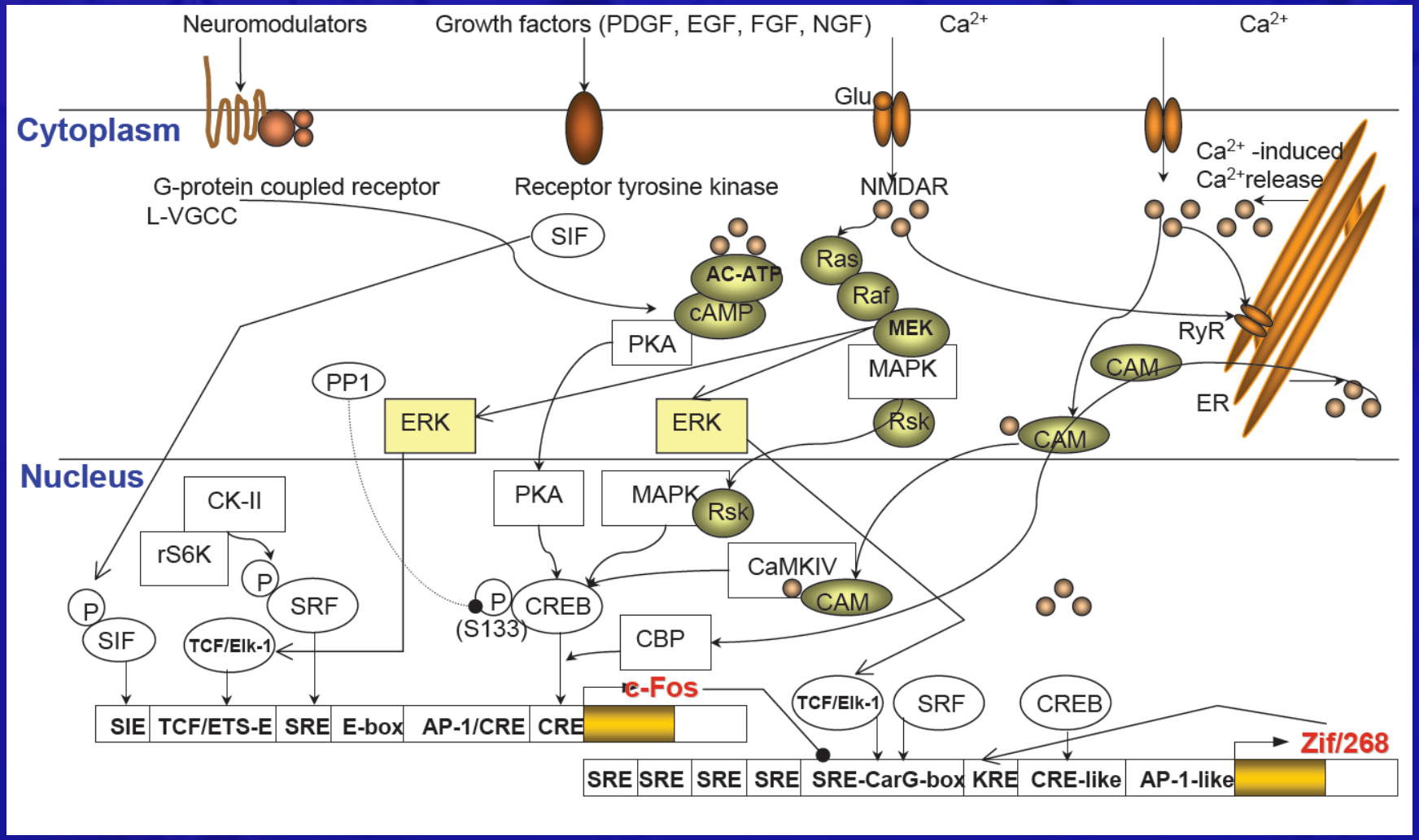
# Нейрогенезу способствуют

- ✓обогащенная среда
- ✓обучение
- ✓«спортивный образ жизни»

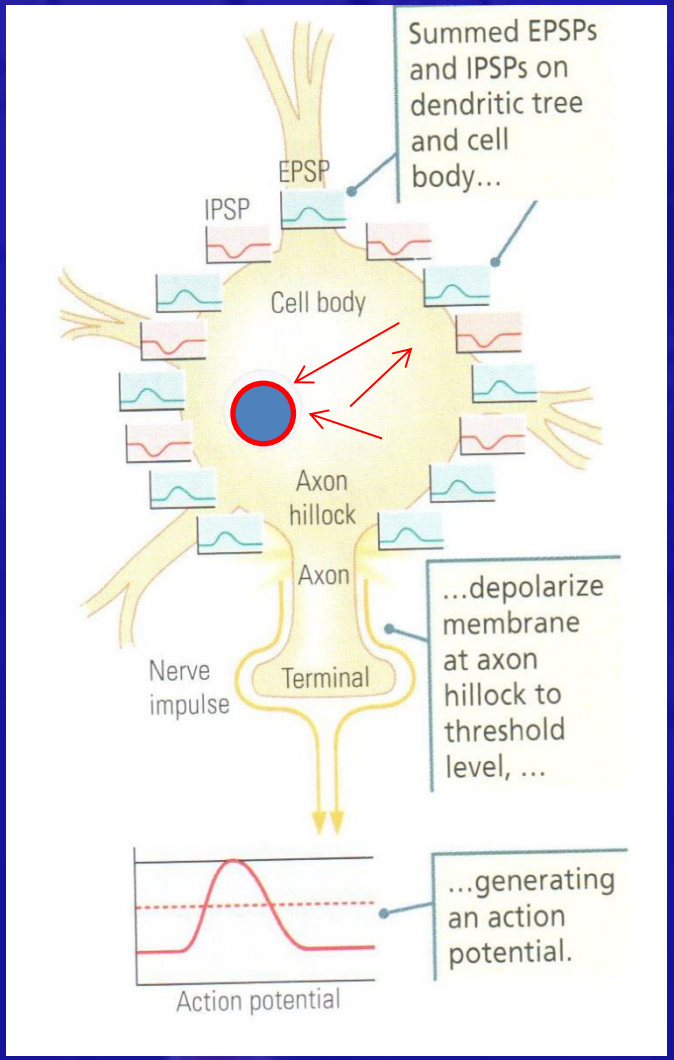
# Встраивание новых нейронов

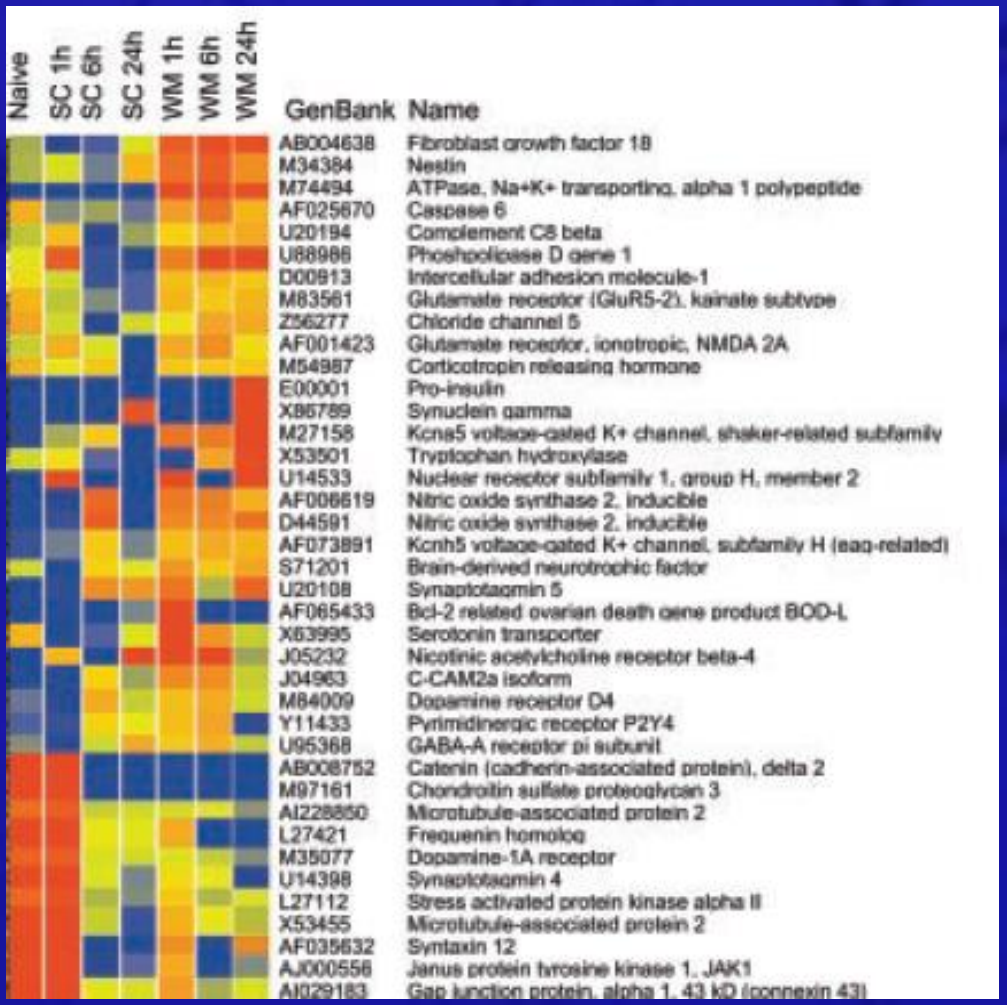


# Каскады молекулярных событий внутри нейронов



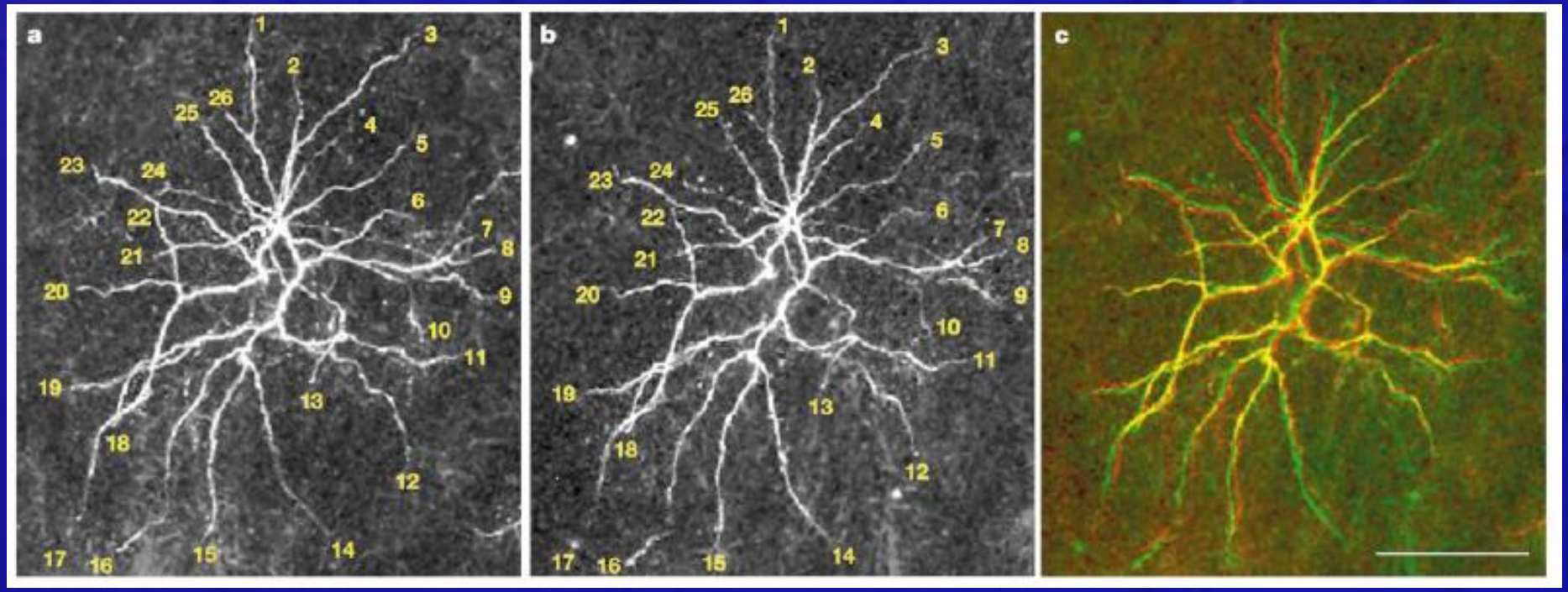
# У нейрона много видов активности



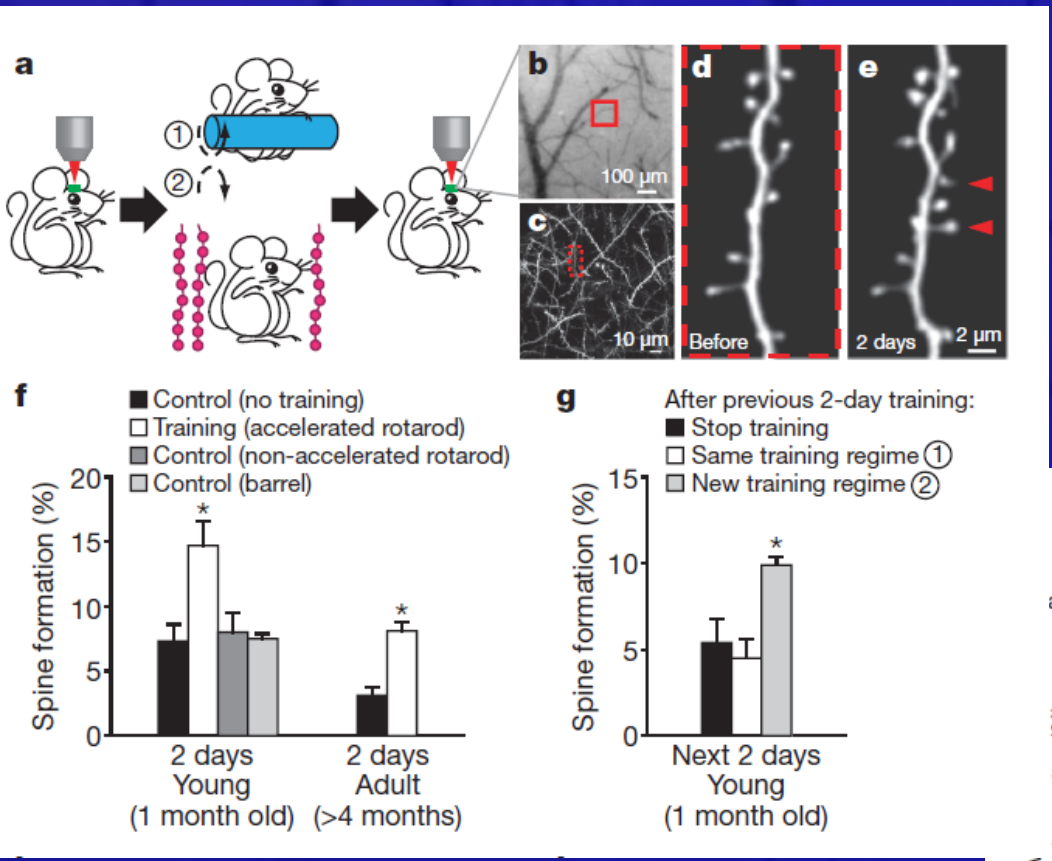

Cavallaro et al., 2002

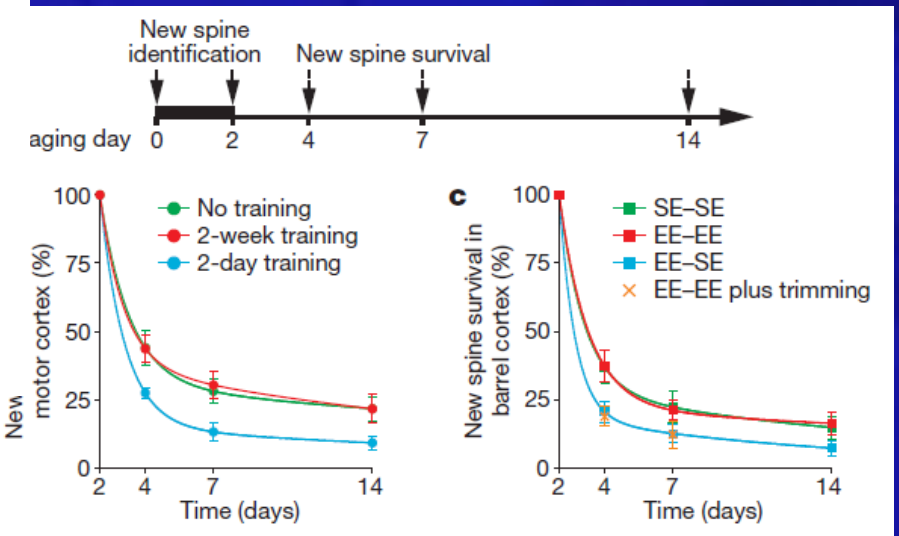
# Структурные изменения




Trachtenberg et al., 2002

# Изменение количества шипиков на дендритах при обучении

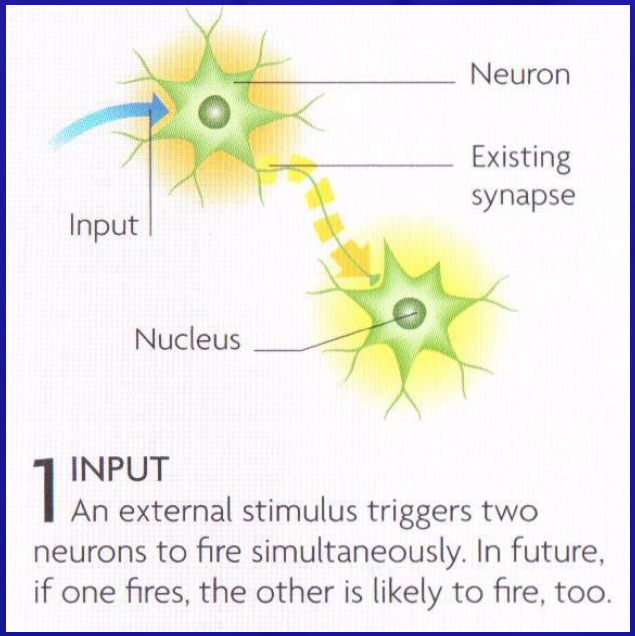


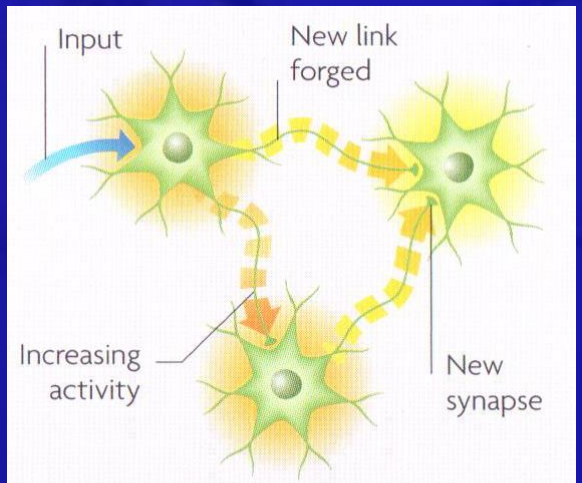

**Stably maintained dendritic spines are associated with lifelong memories**

Yang et al., 2009

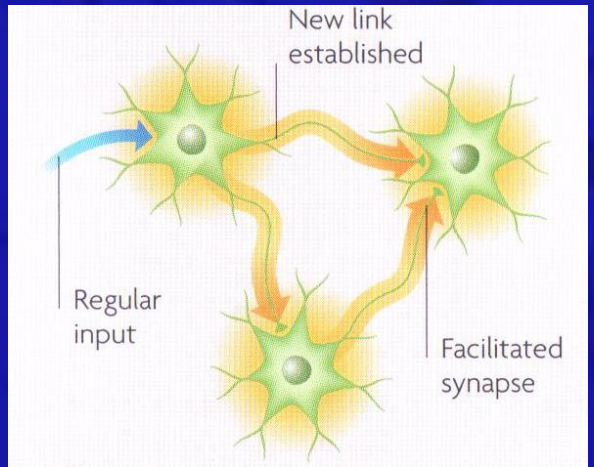
# Обучение – формирование новых нейронных групп



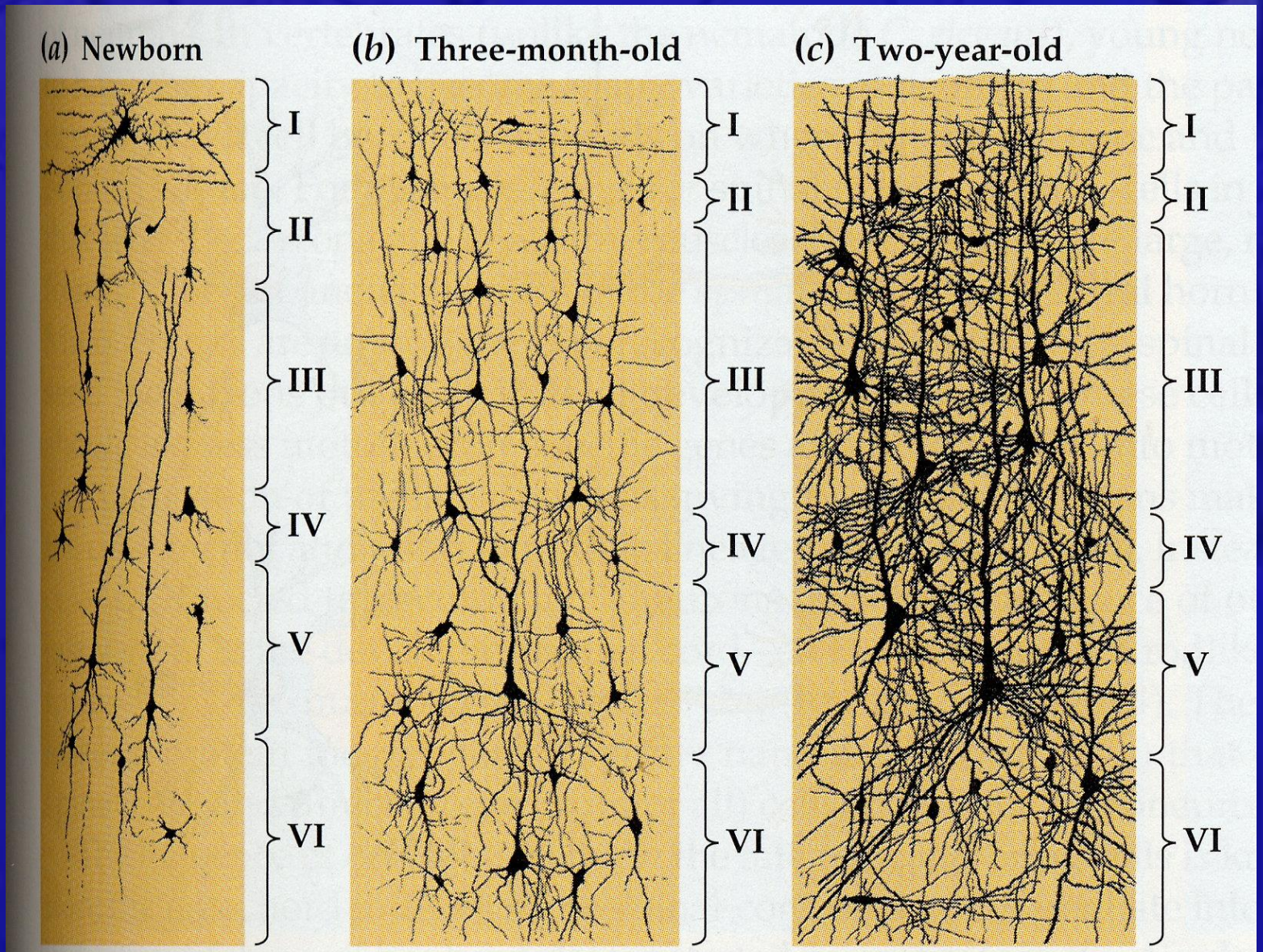

**1 INPUT**
An external stimulus triggers two neurons to fire simultaneously. In future, if one fires, the other is likely to fire, too.




**2 CIRCUIT FORMATION**
A third neuron fires. One of the initial pair is stimulated to fire with it, triggering the second, so the three become linked.

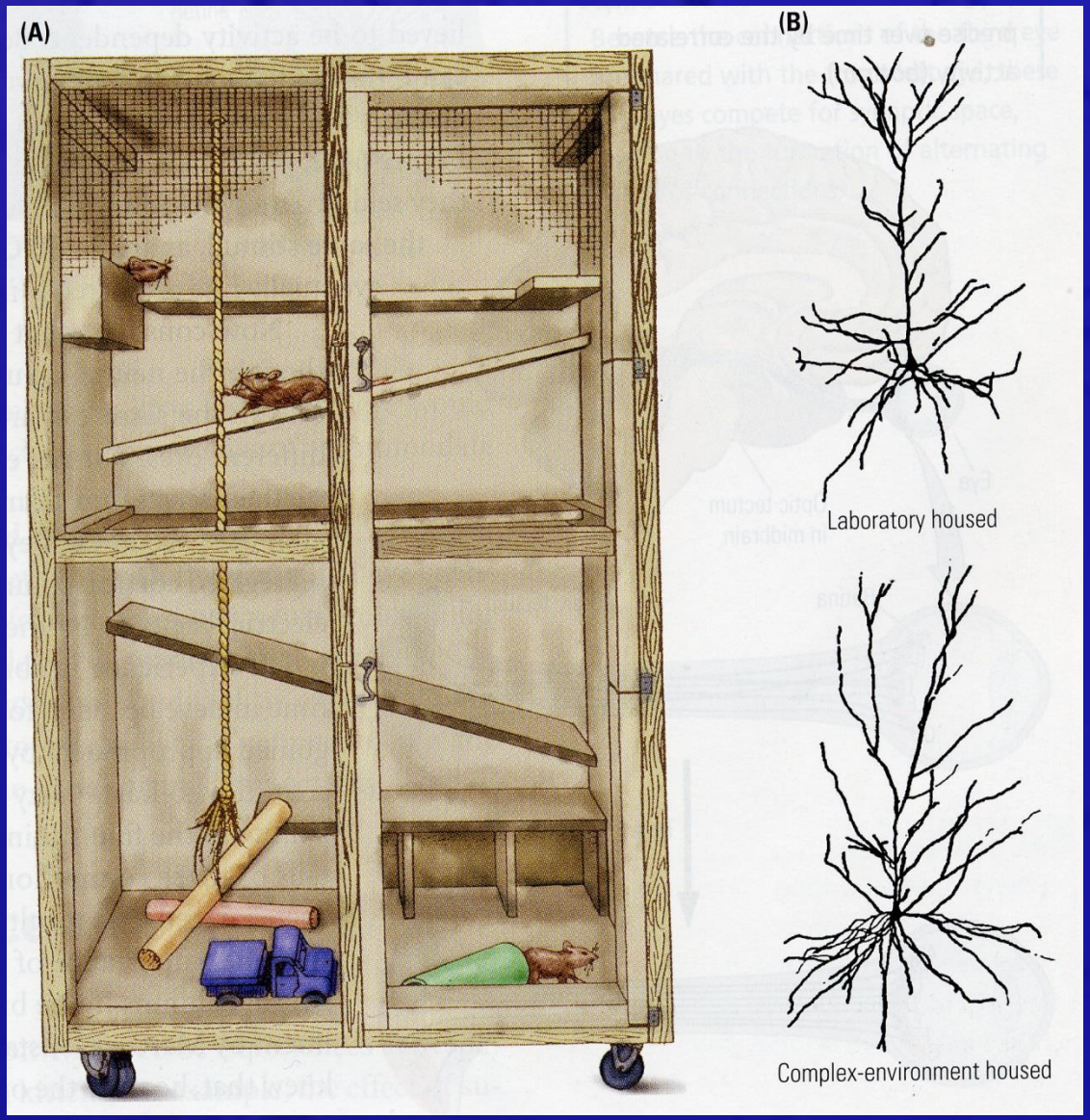


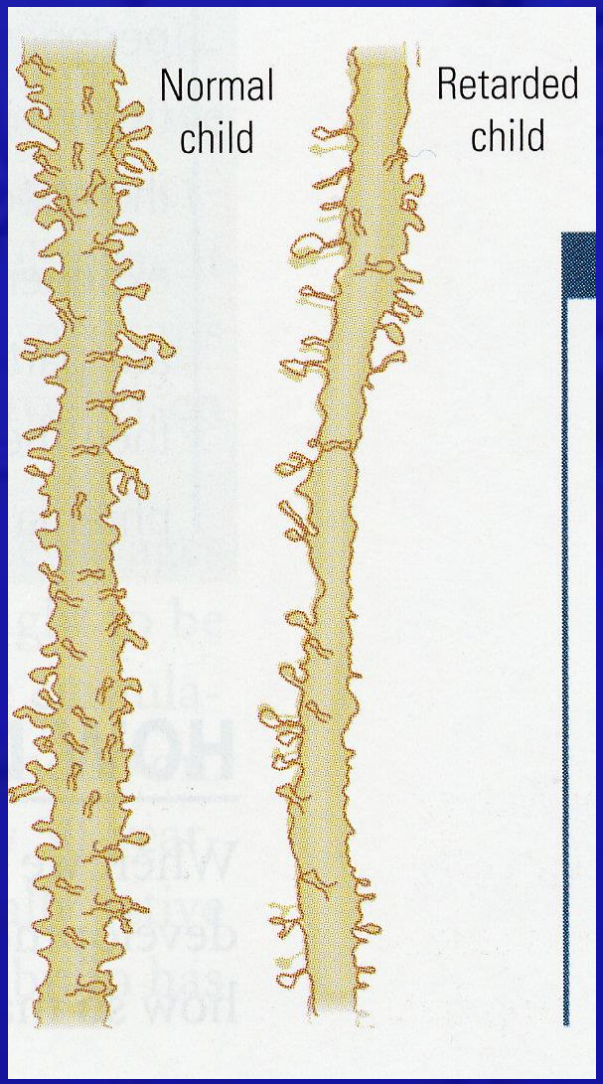

**3 INCREASING ACTIVITY**
The three neurons are now sensitized to one another, so that if one fires, the other two are likely to fire as well.



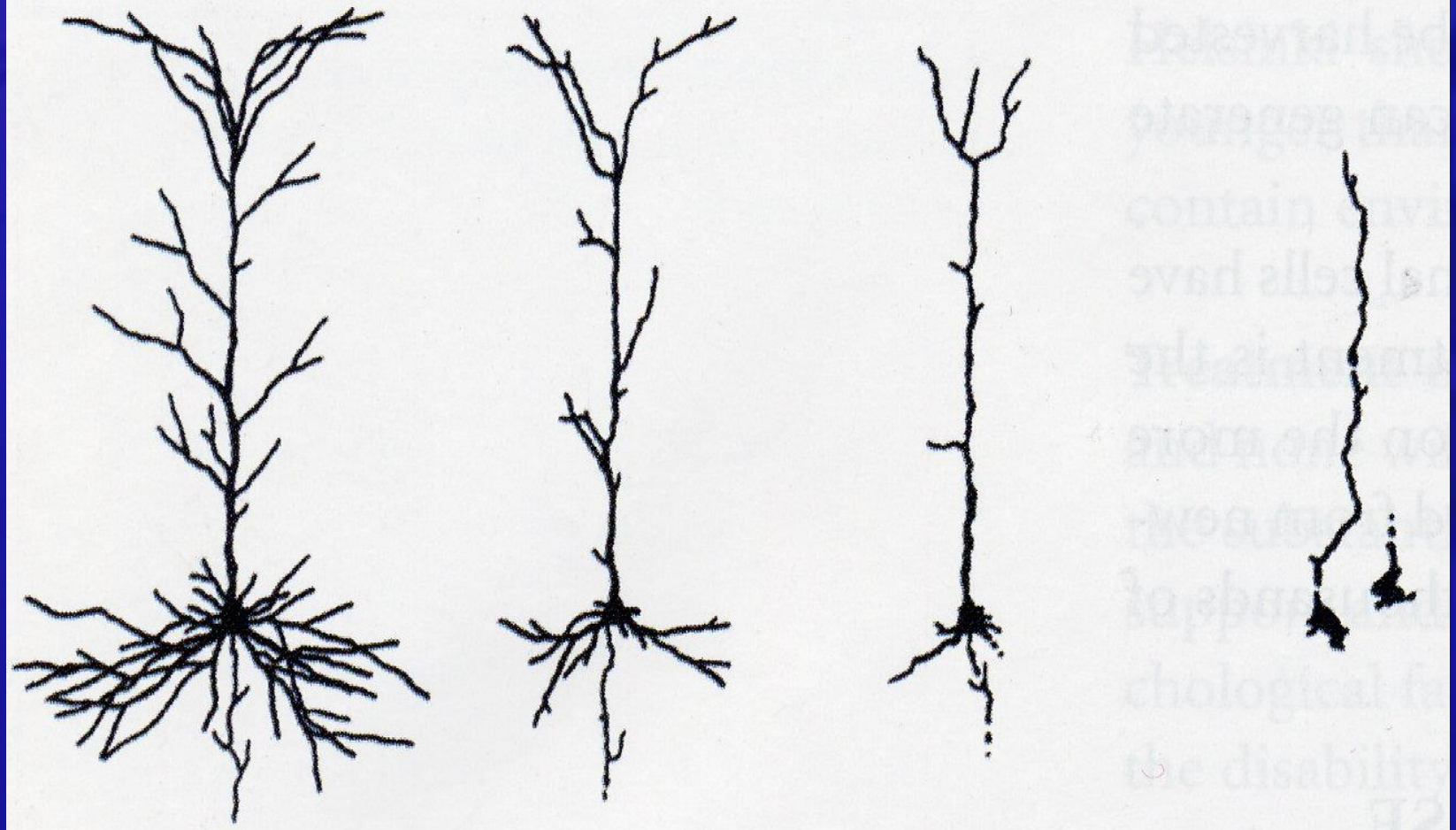

**7.7 Cerebral Cortex Tissue in the Early Development of Humans**

# Ранний онтогенез



# Болезнь Альцгеймера



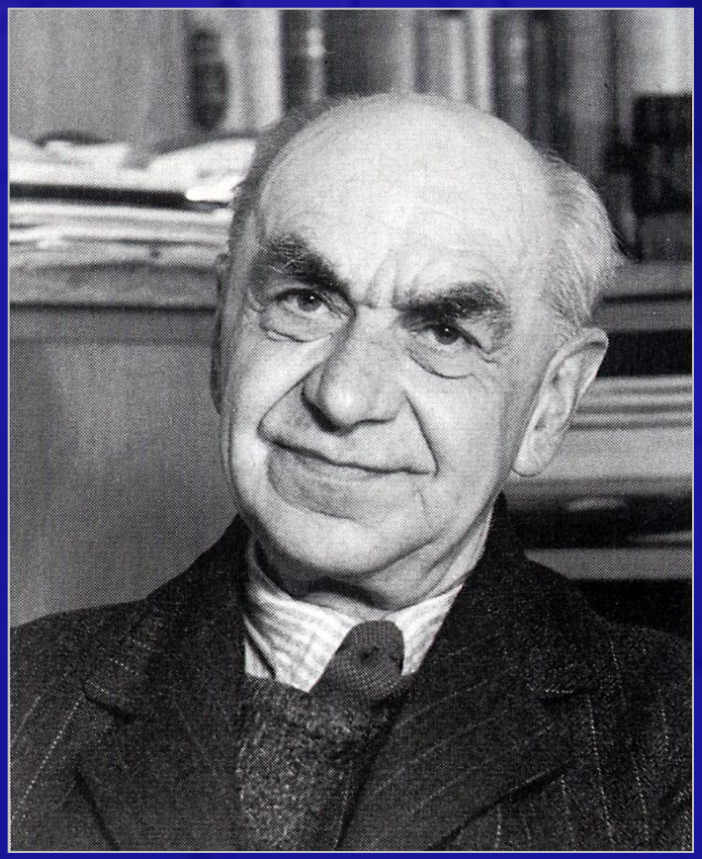
# THE PRINCIPLES OF MEMORY

MEMORY IS A BROAD TERM USED TO REFER TO A NUMBER OF DIFFERENT BRAIN FUNCTIONS. THE COMMON FEATURE OF THESE FUNCTIONS IS THE RE-CREATION OF PAST EXPERIENCES BY THE SYNCHRONOUS FIRING OF NEURONS THAT WERE INVOLVED IN THE ORIGINAL EXPERIENCE.

… воссоздание прошлого опыта посредством синхронной активации тех нейронов, которые были активны в момент первого переживания этого опыта.

**R. Carter, 2009**

# Феномен реконсолидации (непрерывной реорганизации памяти)



**Фредерик Бартлетт**
**1886-1969**

"Я настаивал на протяжении всей дискуссии в этот книге на том, что описание воспоминаний как "фиксированных и безжизненных" есть всего лишь ошибочная фантазия.

Воспоминание не является повторным возбуждением неисчислимых фиксированных фрагментарных следов. Оно есть всегда творческое воссоздание или конструирование, складывающееся из нашего отношения ко всей активной массе реакций и опыта прошлого."

*1932*

**Последовательное описание картины**

# Pluto behaving badly: False beliefs and their consequences

AMERICAN JOURNAL OF PSYCHOLOGY
Winter 2008, Vol. 121, No. 4, pp. 645–662

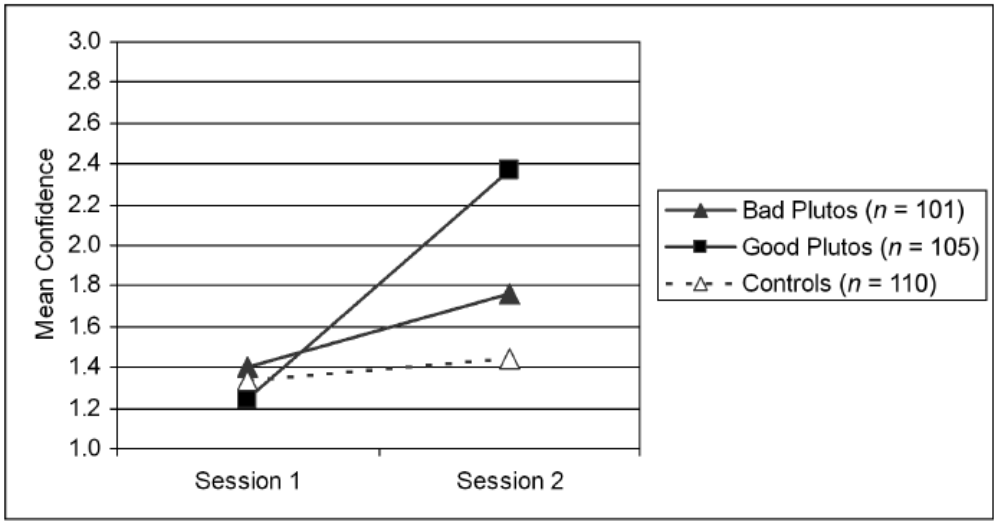
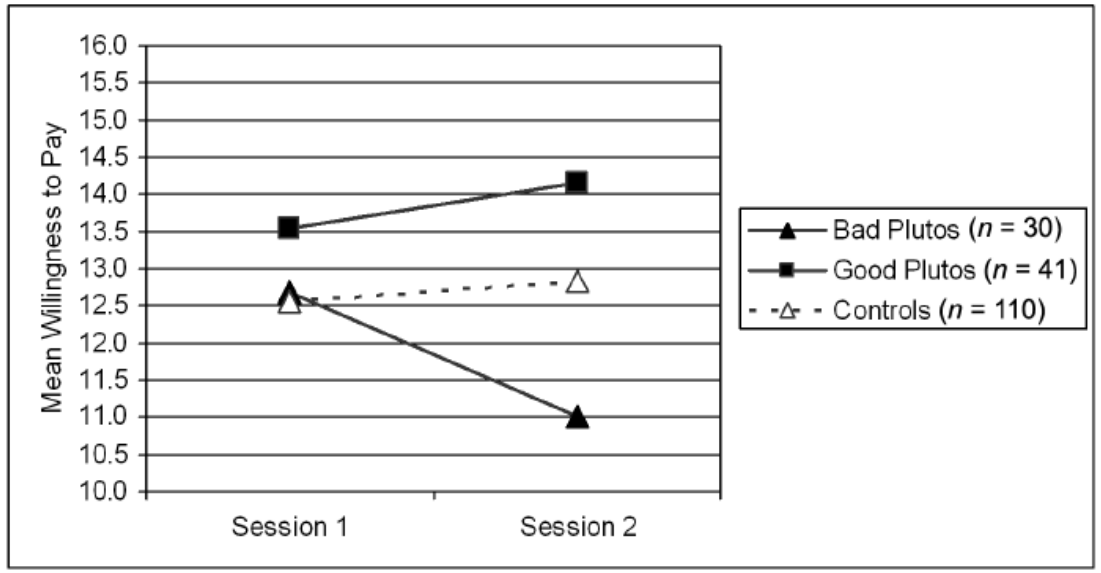
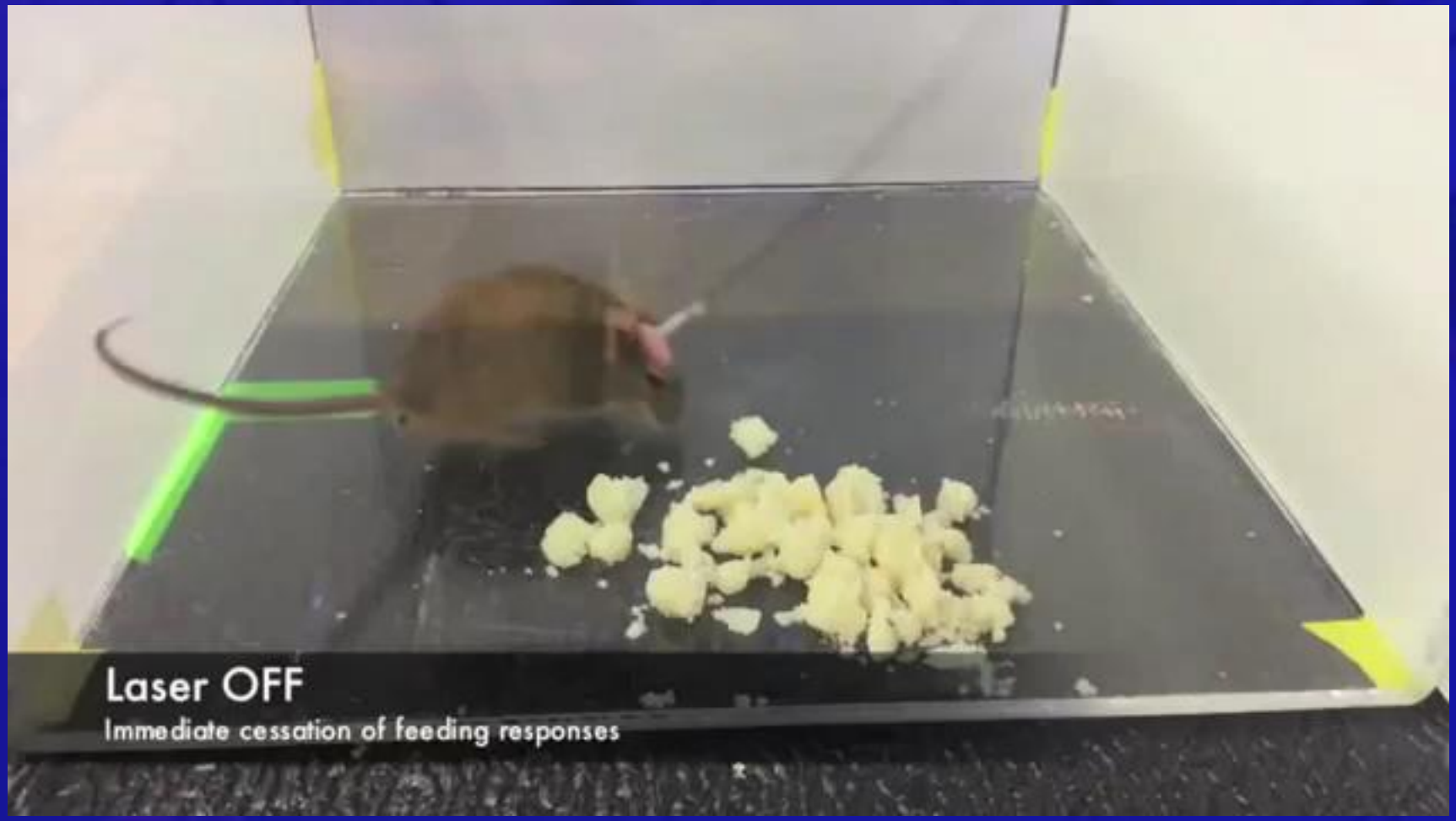


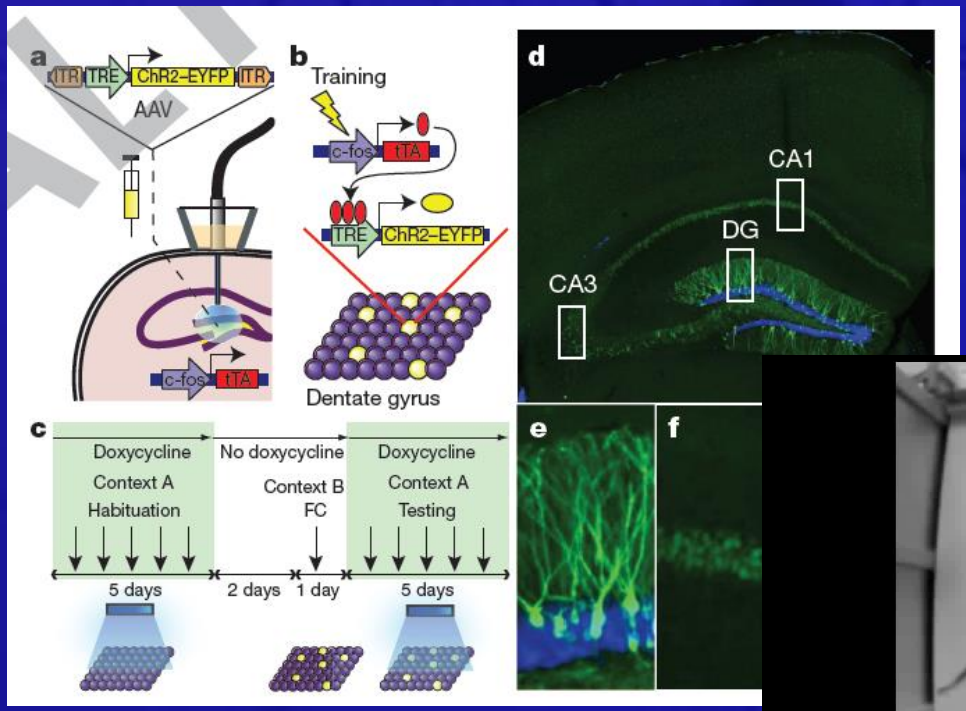

Figure 1. Mean confidence ratings of the critical item ("You had your ear licked by Pluto") on the Disneyland Questionnaire, before and after manipulation



# СТИМУЛЯЦИЯ НЕЙРОННОЙ АКТИВНОСТИ – ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ

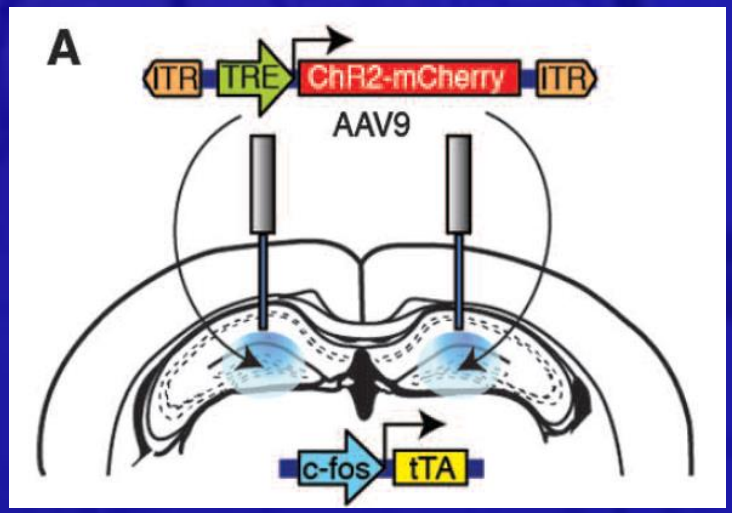


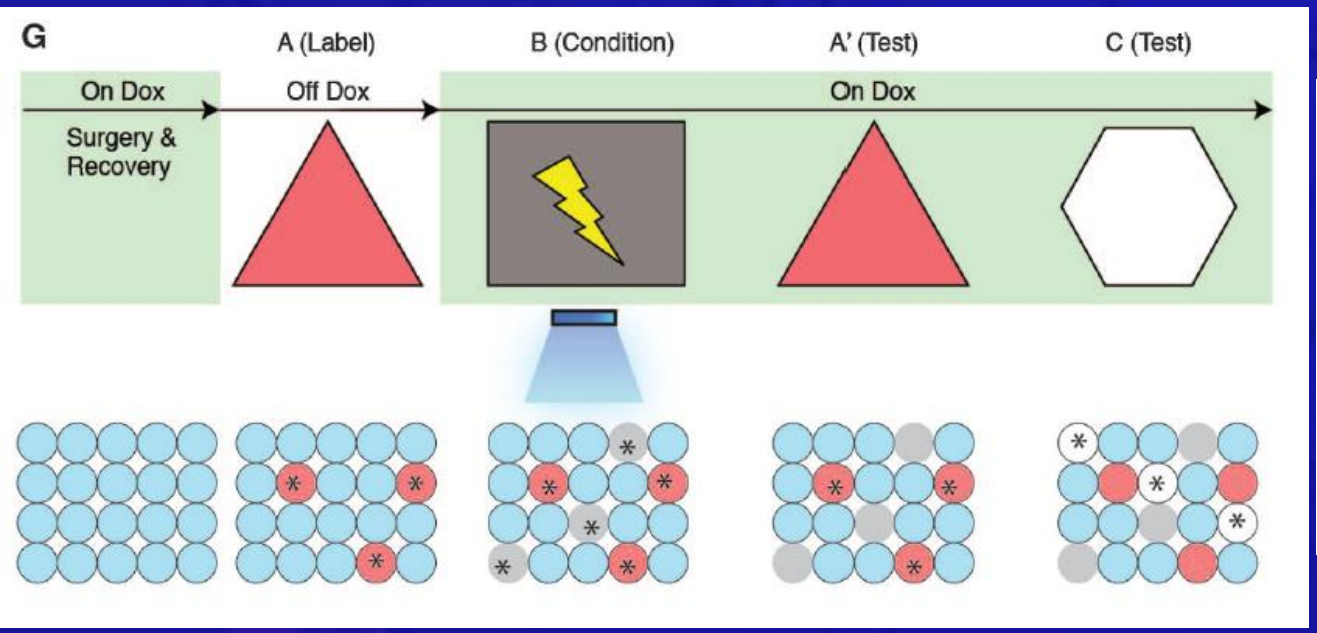
# Если бы нейроны не были селективны в своей активности, мы бы не наблюдали специфического поведения при стимуляции

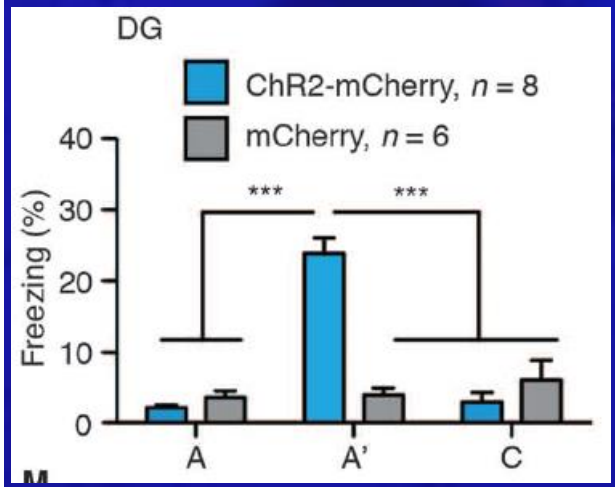



Liu et al 2012

# Направленное создание памяти

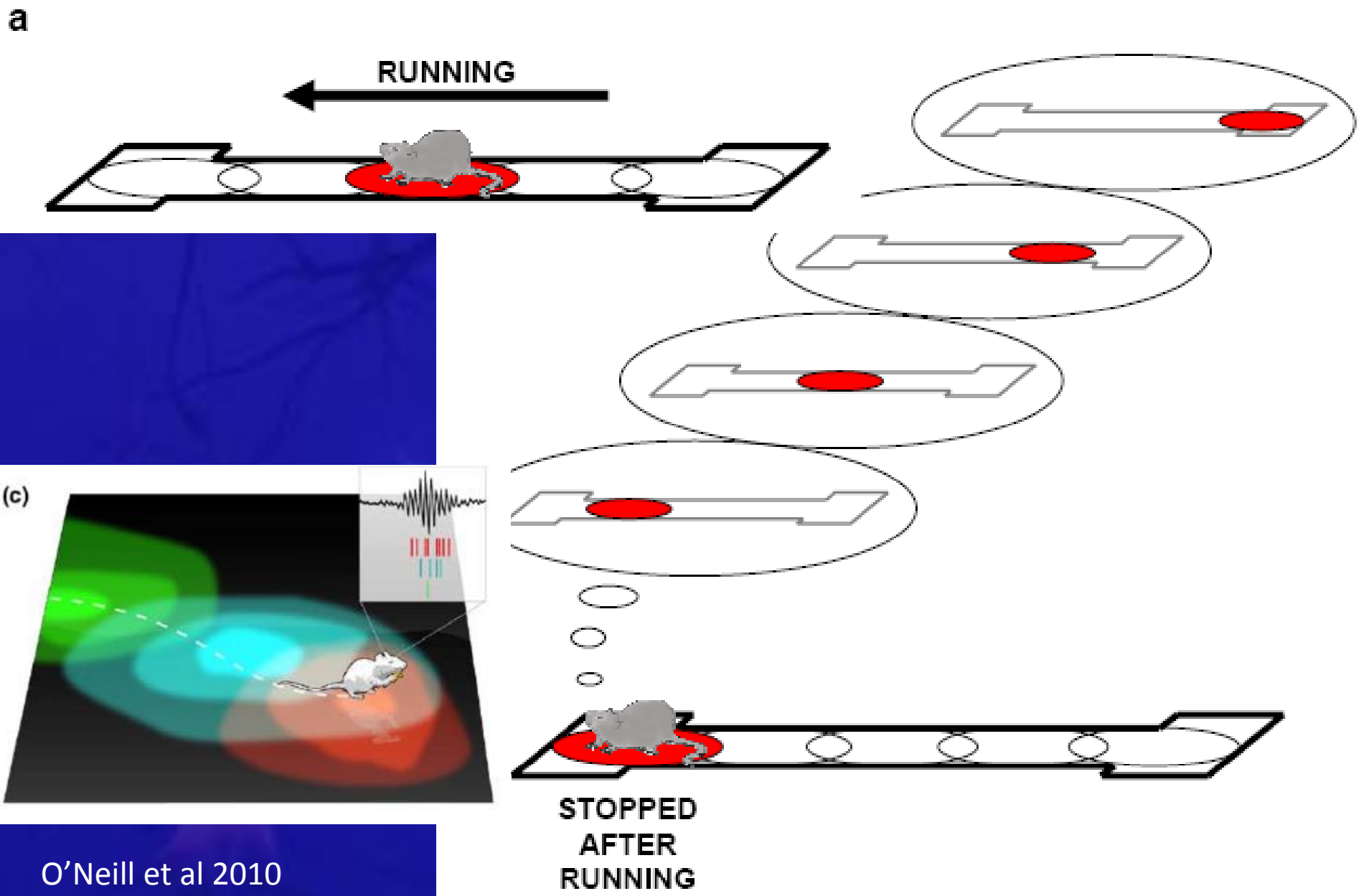



Ramirez et al 2013

# Воспроизведение опыта «в голове»




O’Neill et al 2010

# «Продумывание» вариантов при принятии решения

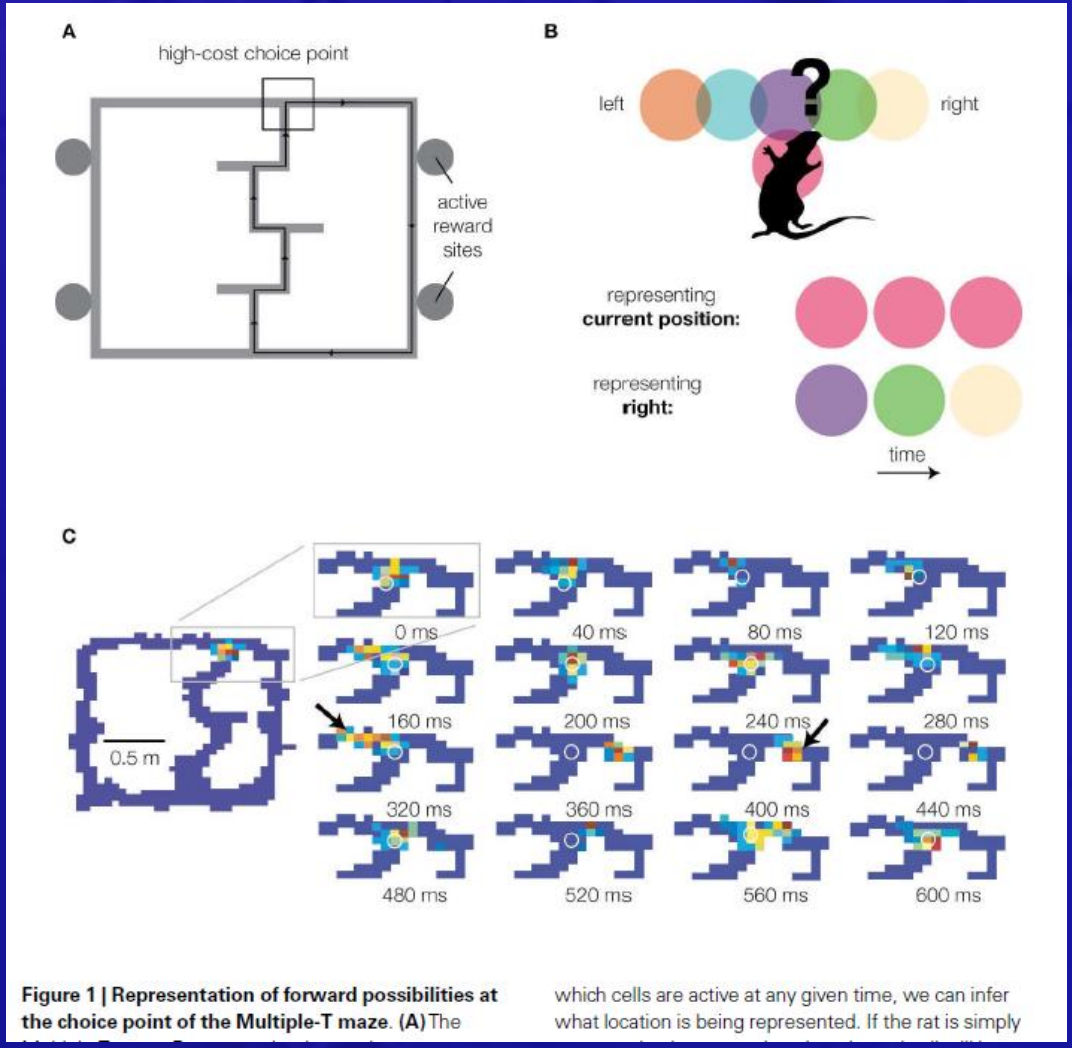
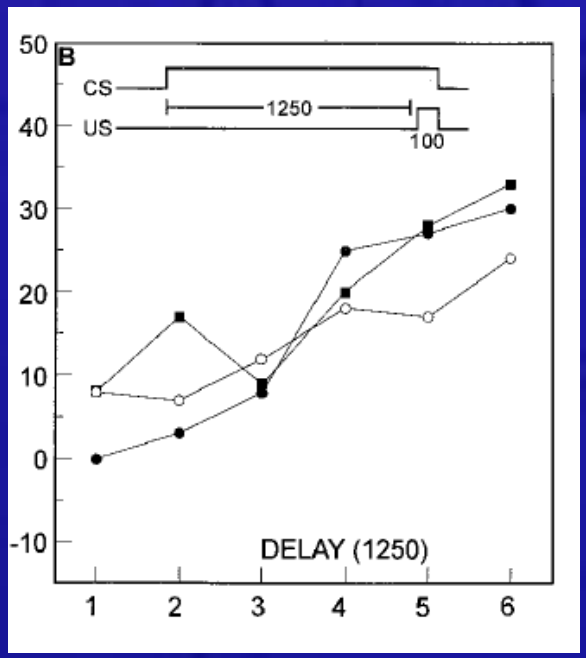


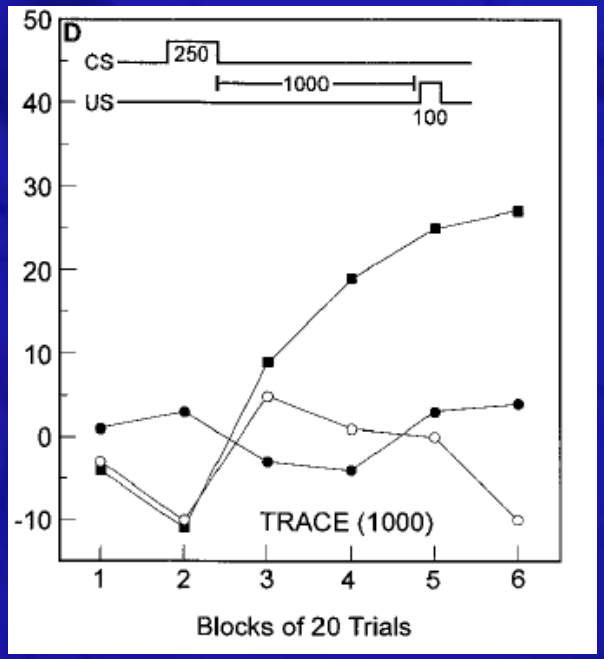

**Figure 1 | Representation of forward possibilities at the choice point of the Multiple-T maze. (A)** The

which cells are active at any given time, we can infer what location is being represented. If the rat is simply


Johnson & Redish, 2007

# Поддержание активности нейронов




SEMs ranged from 0.03 to 0.08. (**A**) ■, aware ($n = 3$); ●, unaware ($n = 9$). (**B**) ■, aware ($n = 7$); ●, unaware ($n = 3$); ○, AMN ($n = 4$). (**C**) ■, aware ($n = 5$); ●, unaware ($n = 7$). (**D**) ■, aware ($n = 7$); ●, unaware ($n = 7$); ○, AMN ($n = 4$).

Clark & Squire, 1998

# Корреляты сознания

- Уровень сложности нейронной активности
- Частота активности нейронов («повторный вход»)
- Синхронизация активности нейронов по всему мозгу

Rita Carter (2009) The Human Brain

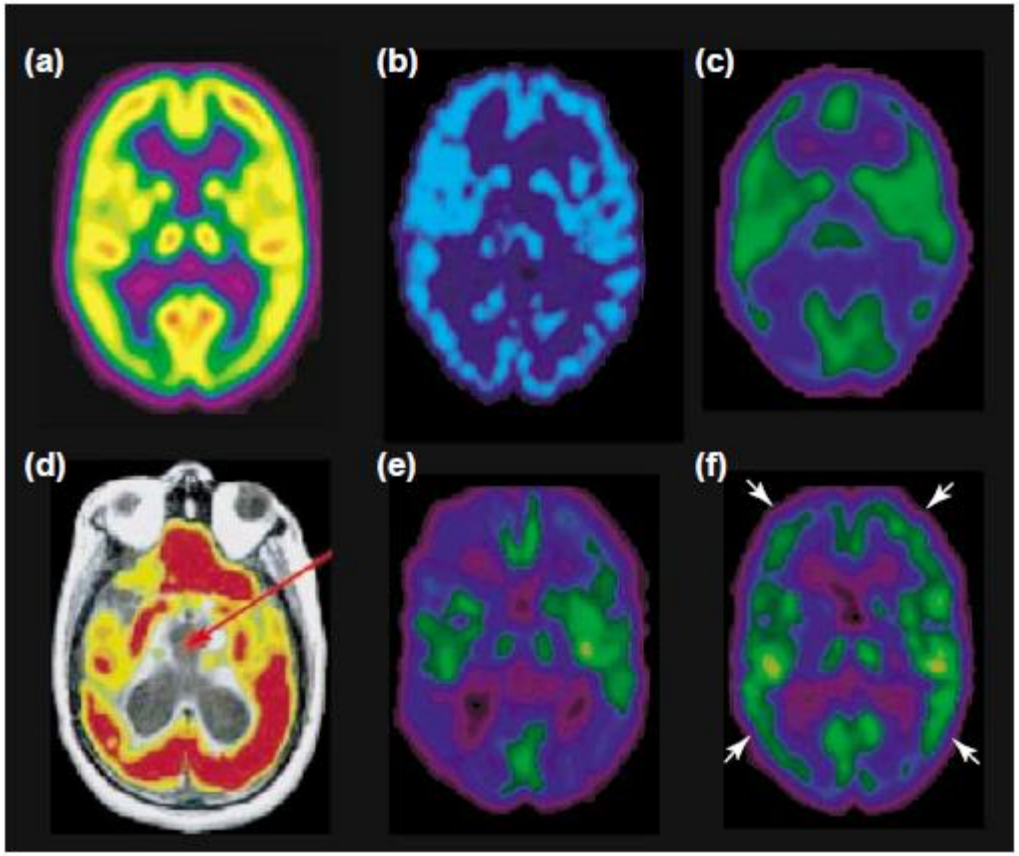



**Figure 2.** PET images illustrating that overall cerebral metabolic rates for glucose are about twice as high in the 'conscious waking state' **(a)** (Laureys *et al.*, unpublished), as compared with altered states of wakefulness such as general anesthesia **(b)** (from [3]), and deep sleep **(c)** (adapted from [4]). In the vegetative state (i.e. wakeful unawareness) overall global cortical metabolism can sometimes have close-to-normal values **(d)** (patient 5 from [5] in a vegetative state following herniation and bilateral paramedian mesodiencephalic injury (red arrow). By contrast, vegetative patients who recover might show no substantial increase in global metabolic function: **(e)** patient scanned in a vegetative state following CO intoxication; **(f)** same patient, in whom full recovery of awareness was accompanied by restoration of activity solely in frontoparietal areas (white arrows; adapted from [7]).

Laureys 2005

Review

# Neural Correlates of Unconsciousness in Large-Scale Brain Networks

George A. Mashour[1,*] and Anthony G. Hudetz[1]

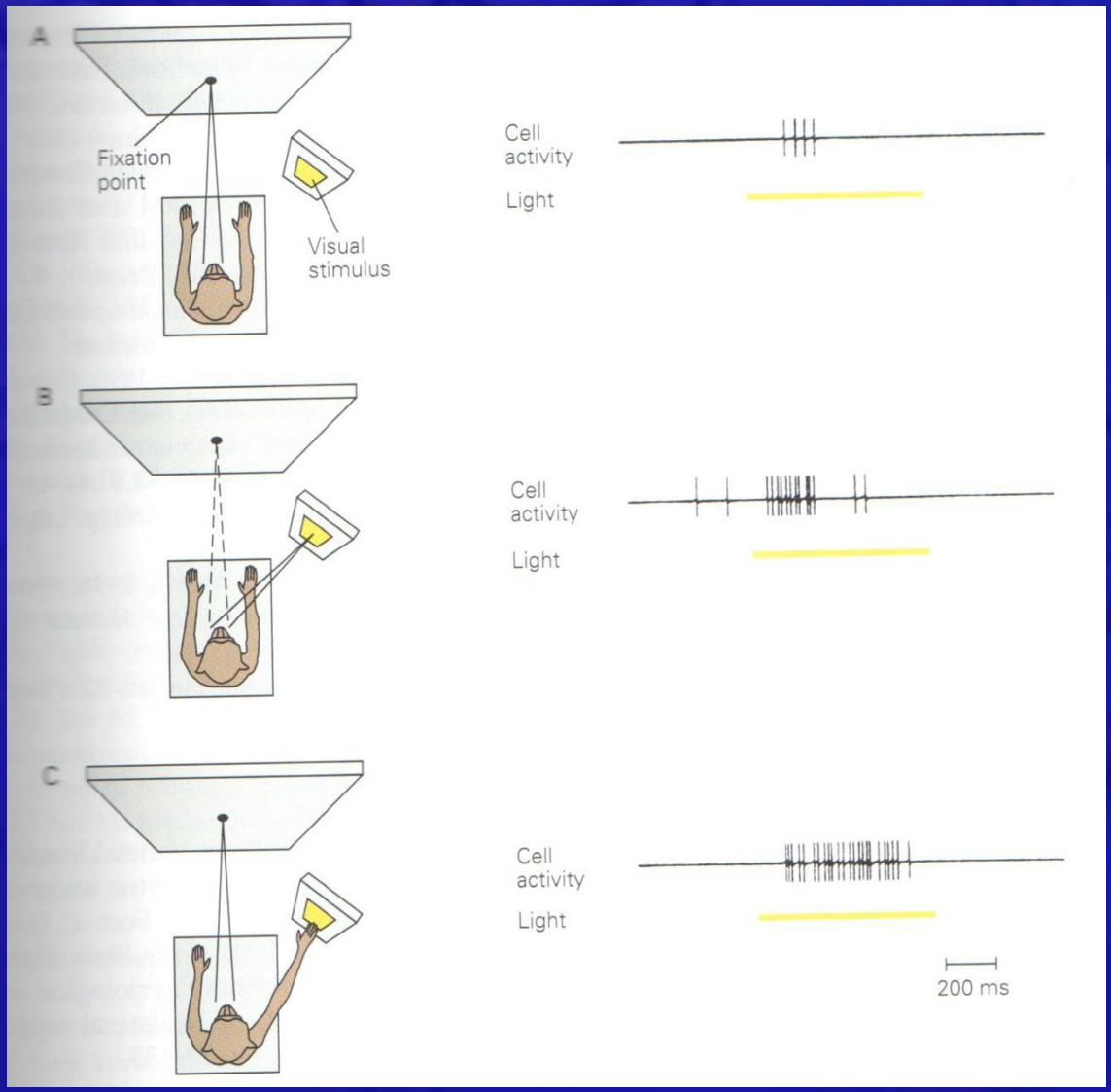
**The biological basis of consciousness is one of the most challenging and fundamental questions in 21st century science. A related pursuit aims to identify the neural correlates and causes of unconsciousness. We review current trends in the investigation of physiological, pharmacological, and pathological states of unconsciousness at the level of large-scale functional brain networks. We focus on the roles of brain connectivity, repertoire, graph-theoretical techniques, and neural dynamics in understanding the functional brain disconnections and reduced complexity that appear to characterize these states. Persistent questions in the field, such as distinguishing true correlates, linking neural scales, and understanding differential recovery patterns, are also addressed.**

## Highlights

fMRI, high-density EEG, MEG, and ECoG are used to assess brain networks during unconsciousness.

Large functional brain networks reconstructed from neuroimaging and neurophysiologic data are analyzed with various connectivity measures, graph theory, and methods that reveal dynamics.

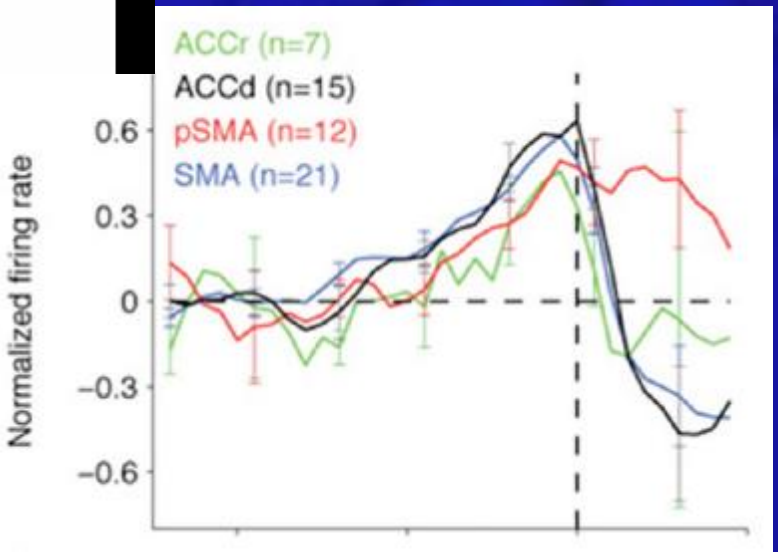
Sleep, general anesthesia, and disorders of consciousness are characterized by disrupted functional


A
Fixation point
Visual stimulus
Cell activity
Light
B
Cell activity
Light
C
Cell activity
Light
200 ms

# Internally generated preactivation of single neurons in the human brain predicts volition

*Fried I., Mukamel R., Kreiman G.*

## Single neuron in left pre-SMA during three consecutive trials




Fried et al, 2011

Состояния «сознательные» – определенная организация нейронной активности во времени и пространстве